

ISSN (Print) 2616-7263
ISSN (Online) 2663-1261

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov
Eurasian National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY Series

Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

1(146)/ 2024

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Астана, 2024

Astana, 2024

Бас редакторы: Тогизбаева Б.Б.
т.ғ.д., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Бас редактордың орынбасары **Жусупбеков А.Ж., т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан**

Жауапты редактор **Закирова А.Б., п.ғ.к. (комп. ғылымдар), доцент, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан**

Редакция алқасы

Левенте Ковач	проф., Обуда университеті, Будапешт, Венгрия
Андраш Молнар	проф., Обуда университеті, Будапешт, Венгрия
Акира Хасегава	проф., Хачинохе технологиялық институты, Хачинохе, Жапония
Акитоши Мочизуки	проф., Токусима Университеті, Токусима, Жапония
Базарбаев Д.О.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Дер Вэн Чанг	проф., Тамкан Университеті, Тайбэй, Тайвань
Жумагулов М.Г.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Йошинори Ивасаки	проф., Геологиялық зерттеулер институты, Осака, Жапония
Калякин В.Н.	проф., Делавер Университеті, Ньюарк, АҚШ
Сахапов Р.Л.	проф., Қазан мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті, Қазан, Ресей
Тадатсугу Танака	проф., Токио Университеті, Токио, Жапония
Тулбекова А.С.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Хое Линг	проф., Колумбия Университеті, Нью-Йорк, АҚШ
Утепов Е.Б.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Чекаева Р.У.	а.к., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Шахмов Ж.А.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Юн Чул Шин	проф., Инчеон ұлттық университеті, Инчеон, Оңтүстік Корея

Редакцияның мекен жайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сәтбаев к-сі, 2,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.
Тел.: +7 (7172) 709-500, (ішкі: 31-315). **E-mail:** vest_techsci@enu.kz

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

Меншіктенуші: КеАҚ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті"

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген

19.04.2021 ж. № KZ31VPY00034682 қайта есепке қою туралы куәлігі

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі 13/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-315). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

Editor-in-Chief: Baglan Togizbayeva

Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Deputy Editor-in-Chief

Askar Zhussupbekov, Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Executive editor

Alma Zakirova, Assoc. Prof. (comp. sci.), L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Editorial board

Levente Kovács	Prof., Óbuda University, Budapest, Hungary
András Molnár	Prof., Óbuda University, Budapest, Hungary
Akira Hasegawa	Prof., Hachinohe Institute of Technology, Hachinohe, Japan
Akitoshi Mochizuki	Prof., University of Tokushima, Tokushima, Japan
Daniyar Bazarbayev	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Der Wen Chang	Prof., Tamkang University, Taipei, Taiwan (ROC)
Mihail Zhumagulov	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Yoshinori Iwasaki	Prof., Geo Research Institute, Osaka, Japan
Viktor Kaliakin	Prof., University of Delaware, Newark, Delaware, USA
Rustem Sakhapov	Prof., Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia
Tadatsugu Tanaka	Prof., University of Tokyo, Tokyo, Japan
Assel Tulebekova	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Hoe Ling	Prof., Columbia University, New York, USA
Yelbek Utepov	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Rahima Chekaeva	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Zhanbolat Shakhmov	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Eun Chul Shin	Prof., Incheon National University, Incheon, South Korea

Editorial address: 2, Satpayev str., of. 402,

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 010008

Tel.: +7 (7172) 709-500, (ext. 31-315), **E-mail:** vest_techsci@enu.kz

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University

TECHNICAL SCIENCES and TECHNOLOGY Series

Owner: Non-profit joint-stock company «L.N. Gumilyov Eurasian National University»

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan

Rediscount certificate № KZ31VPY00034682 from 19.04.2021

Address of Printing Office: 13/1 Kazhimukan str., Astana, Kazakhstan 010008

L.N. Gumilyov Eurasian National University

Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-315). Website: <http://bultech.enu.kz>

Главный редактор: Тогизбаева Б.Б.
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Зам. главного редактора **Жусупбеков А.Ж.**, д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Ответственный редактор **Закирова А.Б.**, к.п.н. (комп. науки), доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Редакционная коллегия

Левенте Ковач	проф., университет Обуда, Будапешт, Венгрия
Андраш Молнар	проф., университет Обуда, Будапешт, Венгрия
Акира Хасегава	проф., Технологический институт Хачинохе, Хачинохе, Япония
Акитоши Мочизуки	проф., Университет Токусима, Токусима, Япония
Базарбаев Д.О.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Дер Вэн Чанг	проф., Тамканский Университет, Тайбэй, Тайвань
Жумагулов М.Г.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Йошинори Ивасаки	проф., Институт геологических исследований, Осака, Япония
Калякин В.Н.	проф., Делаверский Университет, Ньюарк, США
Сахапов Р.Л.	проф., Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия
Тадатсугу Танака	проф., Токийский Университет, Токио, Япония
Тулбекова А.С.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Хое Линг	проф., Колумбийский университет, Нью-Йорк, США
Утепов Е.Б.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Чекаева Р.У.	к.а., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Шахмов Ж.А.	PhD, доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Юн Чул Шин	проф., Инчхонский национальный университет, Инчхон, Южная Корея

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2,
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402
Тел.: +7(7172) 709-500, (вн. 31-315). **E-mail:** vest_techsci@enu.kz

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева
Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Собственник: НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева» Периодичность:
4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан Свидетельство
о постановке на переучет № KZ31VPY00034682 от 19.04.2021 г.

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажымукана, 13/1,

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-315). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

МАЗМҰНЫ/ CONTENT/ СОДЕРЖАНИЕ

Г.Ж. Булекбаева , А.Ө. Табылов , А.З. Букаева , Н.Б. Суйеуова, К.С., П.А. Кожабекова. <i>Бөлшектердің беткі қабатының сапа параметрлері аралас әрлеу-қатайту өңдеудің инновациялық әдісімен кешенді қамтамасыз ету.....</i>	
G.Zh. Bulekbayeva, A.U. Tabylov, A.Z. Bukayeva , N.B. Suieuoova, P.A. Kozhabekova. <i>Comprehensive provision of quality parameters of the surface layer of parts by an innovative method of combined finishing and hardening treatment.....</i>	
Г.Ж. Булекбаева, А.У. Табылов, А.З. Букаева, Н.Б. Суйеуова, П.А. Кожабекова. <i>Комплексное обеспечение параметров качества поверхностного слоя деталей инновационным методом комбинированной отделочно-упрочняющей обработки.....</i>	8
Т.А. Жакатаев, Г.К. Коньсбекова <i>Соққы толқындары аймағындағы аэродинамикалық әсер ету негізінде снаряд немесе зымыран траекториясын өзгерту мүмкіндігі туралы.....</i>	
T.A. Zhakatayev, G.K. Konysbekova <i>On the possibility of changing the trajectory of a projectile or a rocket based on aerodynamic impact in the shock wave zone.....</i>	
Т.А. Жакатаев, Г.К. Коньсбекова <i>О возможности изменения траектории снаряда или ракеты на основе аэродинамического воздействия в зоне ударных волн.....</i>	21
А.Ж. Карсакова, А.С. Кадыров, И.А. Пак, Э.Ж.Кызылбаева <i>Жол қабатын тығыздау процесін модельдеу.....</i>	
A. Karsakova, A.Kadyrov, I.Pak, E. Kuzylbaeva <i>Simulating the process of compacting the railway bed.....</i>	
А.Ж. Карсакова, А.С. Кадыров, И.А. Пак, Э.Ж.Кызылбаева <i>Моделирование процесса уплотнения железнодорожного полотна.....</i>	34
Gongshun Lin, Peng Huang, Xiaowei Feng <i>Жоғары энергиялы лазердің сәулеленуімен саздың зақымдану механизмін зерттеу.....</i>	
Gongshun Lin, Peng Huang, Xiaowei Feng <i>Study on damage mechanism of mudstone radiated by high energy laser.....</i>	
Gongshun Lin, Peng Huang, Xiaowei Feng <i>Исследование механизма повреждения аргиллита излучением высокоэнергетического лазера</i>	50
Н.У.Тастемир, Н.К.Будатов , И. Менендес Пидаль <i>Қатты тұрмыстық қалдықтармен жұмыс істеу кезінде тиеу-түсіру жұмыстарын кешенді механикаландыру мен автоматтандыруды жетілдіру.....</i>	
N.U.Tastemir, N.K.Bulatov, I. Menendez Pidal <i>Improvement of complex mechanization and automation of loading and unloading operations, when handling solid household waste.....</i>	
Н.У.Тастемир, Н.К.Будатов, И. Менендес Пидаль <i>Совершенствование комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ, при оперировании твердо-бытовыми отходами.</i>	57

Д.К. Кушалиев, Р.Б. Қорабай <i>Цилиндр-поршеньдік топ құрылысында керамикалық материалдарды қолдану.....</i>	
D.K. Kushaliev, R.B.Korabay <i>Use of ceramic materials in cylinder piston groups.....</i>	
Д.К. Кушалиев, Р.Б. Қорабай <i>Использование перспективных материалов в цилиндропоршневых группах.....</i>	75
Б.Н. Мұратбеков, Л.В. Вахитова, Г.В. Муратбекова, Н.А. Айманбетов <i>Вокзал кешенінде жолаушылар ағынын ұйымдастыру.....</i>	
B.N. Muratbekov, L. Vakhitova, G. Muratbekova, N. Aimanbetov <i>Organizing passenger flows at the station complex.....</i>	
Б.Н. Муратбеков, Л.В. Вахитова, Г.В. Муратбекова, Н.А. Айманбетов <i>Организация пассажиропотока в вокзальном комплексе.....</i>	104
Д.Ш. Косатбекова, С.О. Нукешев, Н.Н.Романюк <i>Кремний-марганец-хром негізіндегі балқытумен нығайтылған қашауға макроқұрылымдық талдау.....</i>	
D.Sh. Kossatbekova, S.O. Nukeshev, N.N. Romanyuk <i>Macrostructure of hardened chisel opener with silicon-manganese-chromium based cladding.....</i>	
Д.Ш. Косатбекова, С.О.Нукешев, Н.Н.Романюк <i>Макроструктурный анализ упрочненного долота с помощью наплавки на основе кремний-марганец-хрома.....</i>	114
М.К. Шаяхметова, А.Л. Касенов, А.К. Шаяхметова, Б.А. Лобасенко <i>Оңтайландыру кезіндегі критерийлік теңдеу сүзгі центрифугасының жұмыс режимдері</i>	
M. Shayakhmetova, A. Kasenov, A. Shayakhmetova, B. Lobosenko <i>The criterion equation for optimizing the operating modes of the filter centrifuge.....</i>	
М.К. Шаяхметова, А.К. Леонидович, А.К. Шаяхметова, Б.А. Лобасенко <i>Критериальное уравнение при оптимизации режимов работы фильтрующей центрифуги</i>	132
А.С. Айтхожина, А.Б. Оразалина, Г.Н. Байгужина <i>Пойыз қозғалысын басқарудың жаңа әдістері.....</i>	
A.S Aitkhozhina, A.B. Orazalina, G.V. Baiguzhina <i>New methods of train traffic control.....</i>	
А.С. Айтхожина, А.Б. Оразалина, Г.Н. Байгужина <i>Новые методы управления движением поездов.....</i>	151
Ж.Т. Кусбергенова, А.С. Тулебекова, И.Т. Жумадилов <i>Топырақты био цементтеу процесінде уреолитикалық бактериялардың қолданылуына шолу</i>	
Zh.Kusbergenova, A.Tulebekova, I.Zhumadilov <i>A review of the use of ureolytic bacteria in the process of biocementation of soils.....</i>	
Ж.Т. Кусбергенова, А.С. Тулебекова, И.Т. Жумадилов <i>Обзор использования уреолитических бактерий в процессе биоцементации грунта.....</i>	158

Ғ.Қ.Сәменов, Ә.А.Қаражанов, Б.У.Жаманбаев <i>Күрделі биік таулы жағдайларда карьерлік автоөзітүсіргіштерді пайдалану.....</i>	
G.K. Samenov, A.A.Karazhanov, B.U.Zhamanbayev <i>Operation of mine dump trucks in difficult high-altitude conditions.....</i>	
Ғ.К. Саменов, А.А. Каражанов, Б.У. Жаманбаев <i>Изучение эффективности работы карьерных автосамосвалов в сложных высокогорных условиях.....</i>	177
А. Тулеков; Б. Сазамбаева, А. Кенесбек, И. Кенесбек <i>Бағдарламалық жасақтаманың көмегімен мұнара кранының металының шаршауын анықтау.....</i>	
Tulekov; B. Sazambayeva, A. Kenesbek, I. Kenesbek <i>Determination of metal fatigue of a tower crane using software.....</i>	
А. Тулеков; Б. Сазамбаева, А. Кенесбек, И. Кенесбек <i>Определение усталости металла башенного крана при помощи программного обеспечения.....</i>	189
А. Тулеков, Б. Сазамбаева, Б. Тогизбаева , И. Кенесбек <i>Мұнара крандарын жасау үшін инновациялық материалдарды пайдалану.....</i>	
Tulekov, B. Sazambayeva, B. Togizbayeva, I. Kenesbek <i>The use of innovative materials for the development of tower cranes.....</i>	
А. Тулеков, Б. Сазамбаева, Б. Тогизбаева , И. Кенесбек <i>Использование инновационных материалов для разработки башенных кранов.....</i>	201
Г. Таттимбек, К.Т. Шеров, С.С. Айнабекова, Е.Б. Иманбаев, Г.М. Тусупбекова <i>Тіскесуші құралдардың тұрақтылығы мен тозуын зерттеу.....</i>	
G. Tattimbek, K.T. Sherov, S.S. Ainabekova, E.B. Imanbaev, G.M. Tusupbekova <i>Study of wear and durability of gear cutting tools.....</i>	
Г. Таттимбек, К.Т. Шеров, С.С. Айнабекова, Е.Б. Иманбаев, Г.М. Тусупбекова <i>Исследование износа и стойкости зуборезных инструментов.....</i>	222
Арысбаев А. <i>Вебинтеграциясы.....</i>	
Arysbaev A. <i>Web-Integration.....</i>	
Арысбаев А. <i>Web-интеграция.....</i>	236



XҒТАР 55.21.21

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-8-20>

Ғылыми мақала

Бөлшектердің беткі қабатының сапа параметрлерін аралас әрлеу-қатайту өңдеудің инновациялық әдісімен кешенді қамтамасыз ету

Г.Ж. Булекбаева¹, А.Ө. Табылов¹, А.З. Букаева*¹, Н.Б. Суйеуова¹,
П.А. Кожобекова²

¹ «Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті» КеАҚ, Ақтау, Қазақстан

² «М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Шымкент, Қазақстан

(E-mail: ¹mira_gul@mail.ru, ¹tabylov62@mail.ru, *¹amina_bukaeva@mail.ru, ¹nsuyeuova@mail.ru,
²pernesh-63@mail.ru)

Аңдатпа. Қазіргі заманғы машина жасау өндірісінде өнімдердің сенімділігі мен беріктігі көбінесе олардың беткі қабатының сапасына байланысты және бұл бөлшектердің беткі микрогеометриясын жақсартумен қатар, беткі қабаттың құрылымын, физика-механикалық қасиеттерін және кернеулі күйін дұрыс бағытта өзгертетін өңдеу әдістерін қолдану қажеттігін тудырады. Мақалада қатты және серпімді үтіктеуді біріктіретін және бөлшектердің беткі қабатының сапа параметрлерін жан-жақты қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін беттік пластикалық деформацияның аралас әдісі зерттелген. Қатты серпімді үтіктеу үшін біріктірілген құралды және үтіктеу кезінде берілген кернеуді автоматты түрде қамтамасыз ету жүйесін пайдалану мүмкіндіктері қарастырылған. Үтіктеу кезінде берілген кернеуді автоматты қамтамасыз ету жүйесін пайдалану процестің қуат параметрлерін жоғары дәлдікпен реттеуге мүмкіндік береді. Жұмыстың практикалық мәні-қатты серпімді үтіктеу нәтижесінде беткі қабатта біртекті тығыз қатайтылған қабаты бар микроқұрылым пайда болып, қолайлы доғал пішіннің беткі кедір-бұдырының тұрақты профилін қалыптастырады және бөліктің беткі қабатының тозуға төзімділігі мен оның дұрыс геометриялық пішінін қамтамасыз етеді.

Мақаладағы зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын "Балқытылатын бөлшектердің кернеулі-деформацияланған жай-күйін зерттеу және олардың беттік пластикалық деформация процестеріндегі деформацияларын төмендету әдісін әзірлеу" АР19680395 жобасы шеңберінде проблемалық мәселелерді шешуге бағытталған.

Түйін сөздер: бөлшектің беткі қабаты, әрлеу және қатайту, беттік пластикалық деформация, қатты және серпімді үтіктеу, микроқұрылым, беттің кедір-бұдыры, индентор.

Кіріспе

Заманауи машина жасау өнімдері ұзақ мерзімді пайдалану жағдайында, оның ішінде жоғары жүктемелер, температура жылдамдығы, абразивті және агрессивті орталардың болуы сияқты экстремалды жағдайларда машиналар мен механизмдердің сенімді жұмыс қабілетін қамтамасыз етуі керек. Сондықтан жауапты мақсаттағы үйкеліс түйіндерінің материалдарына тозуға төзімділік, үйкеліске қарсы қасиеттер, жанасу жүктемелері кезінде деформацияға қарсы тұру қабілеті, ыстық пен коррозияға төзімділік бойынша жоғары талаптар қойылады.

Пайдалану қасиеттерінің жоғарылауы қазіргі заманғы бөлшектерді жасау үшін қолданылатын материалдардың беткі қабатымен қамтамасыз етілуі керек [1-2]. Бөлшектердің сенімділігі мен беріктігі көбінесе беткі қабаттардың сапасына байланысты. Бұл металдың беткі қабаты ең көп жүктелгендігімен және бөлшектің шаршау беріктігіне теріс әсер ететін құрылымдық, технологиялық және пайдалану кернеу концентраторларының тасымалдаушысы болып табылатындығымен түсіндіріледі. Шаршау беріктігі мен тозуға төзімділігін арттыру үшін бөлшектің беткі микрогеометриясын жақсартумен қатар беткі қабаттың құрылымын, физика-механикалық қасиеттерін және кернеулі күйді қажетті бағытта өзгертетін өңдеу әдістерін қолдану керек. Машина бөлшектерінің пайдалану қасиетін арттырудың тиімді әдістерінің бірі - беттік пластикалық деформациямен (БПД) әрлеу және қатайту. Бұл әдіспен өңдеу кезінде беттің минималды кедір-бұдырына қол жеткізу және беткі қабаттың физика-механикалық қасиеттерін жақсарту қамтамасыз етіледі. Бірақ өндіріске БПД әдісімен өлшемдік-әрлеу және қатайта өңдеуді кеңінен енгізуге байланысты, беттерді кесу және БПД-мен бірге өңдеу әдістерін жасау ерекше маңызға ие. Бұл бір мезгілде илектеу және илектеу немесе үтіктеу арқылы кесуді өңдеуге мүмкіндік береді. Аталмыш әдістер беткі қабаттың наноқұрылымдық күйін және субмикрорельефін қалыптастырады және дәл бөлшектерді сериялық өндіруде пайдалану қасиеттерінің еселенген өсуін қамтамасыз етеді [3-5]. Сондықтан, беттік пластикалық деформациямен әрлеу және қатайту кезінде аралас құралдарды қолдану, әзірлеу және жетілдіру мәселелері қазіргі заманғы машина жасау өндірісінде аса өзекті. Өйткені мұндай өңдеу операцияларды біріктіру арқылы еңбек сыйымдылығының айтарлықтай төмендеуін де, өңделетін бөлшектердің беткі қабатының жоғары сапасын да қамтамасыз етеді. Тегістеу - бөлшектерді беттік пластикалық деформациямен әрлеу және қатайту әдісі, ол өңделетін бетті оның үстінен жылжымалы индентормен деформациялаудан тұрады. Қолданылатын қысымның нәтижесінде беткі қабаттардың қатаюы және тозуға төзімділігі жағынан қолайлы беткі рельефтің пайда болуы, атап айтқанда беттің тегістелген бұдырлы профилі пайда болады.

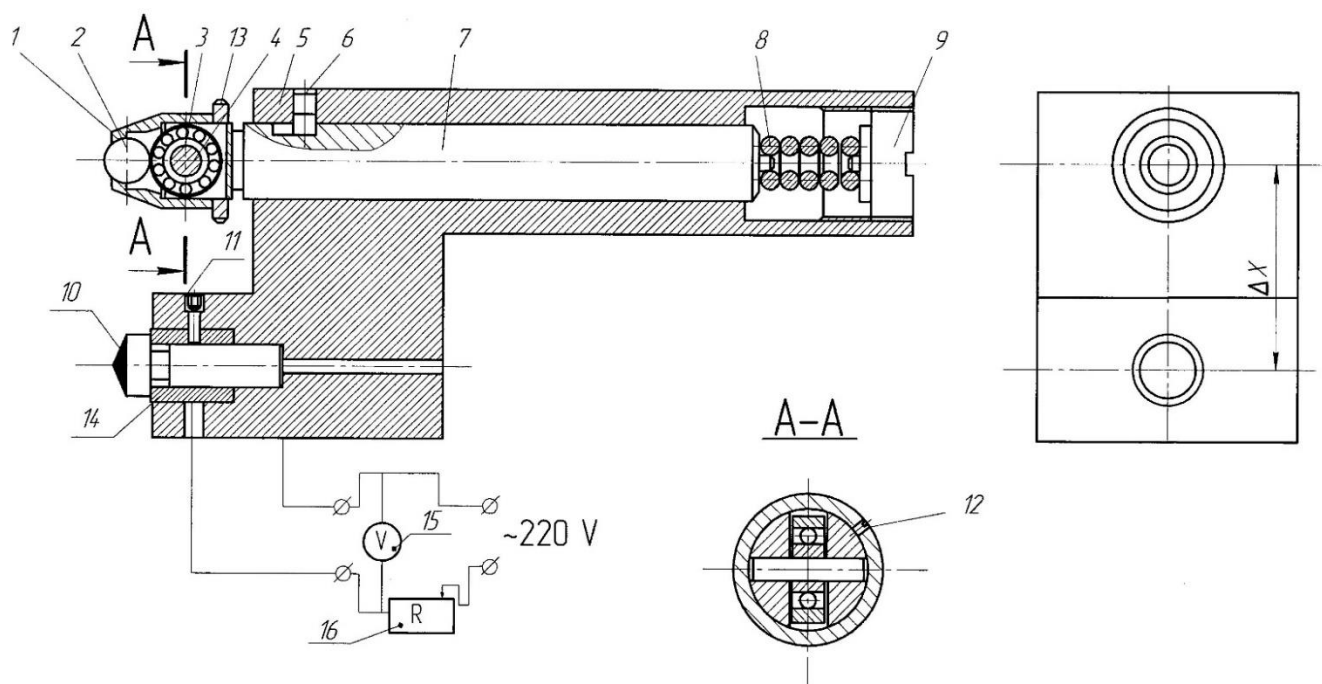
Тегістеу кезінде өңделген беттің кедір-бұдырлығының биіктік параметрлері көбінесе құралдың жұмысына байланысты, бұл тегістеу процесінің өнімділігін төмендетеді. Осылайша, классикалық тегістеуштермен өңдеу кезінде беткі қабаттың микроқаттылығының, қалдық қысу кернеулерінің және тегістелген беттің кедір-бұдырлығының биіктік параметрлерінің берілген мәндерін қамтамасыз ету үшін әрқашан үтіктеудің иссалы шарттары іздестіріледі.

Зерттеу әдістері

Осы мақсат белгілі бір практикалық қызығушылықтың қатаң серпімді тегістеу әдісін қолдану бойынша инновациялық технологиялық шешім болып табылады. Өйткені бөлшектерді екі құралмен (немесе үтіктеу басымен) беттік пластикалық деформациямен әрлеу және өңдеу бөлігінің бетіне сырғып кететін серпімді түйреуішпен екі құралмен (немесе үтіктеу басымен) өңдеу әдісі ретінде, серпімді түйреуіш шыңдар бойымен өтеді бетінің кедір-бұдырлық профилі, қатты бекітілетін индентатордан түзілген [6,7]. Индентордың серпімді бекітілуімен тегістеуішті екі рет қолдану (екі өту үшін тегістеу) белгілі бір жағдайларда наноқұрылымды өңдеуге әкеледі. Қатты серпімді тегістеу үшін 1-суретте тиімді қатты - серпімді тегістеуіштің аралас конструкциясы көрсетілген. Әрлеу-қатайту өңдеуге арналған құрама құралдың конструкциясы мынадай элементтерді қамтиды: 1 сепаратор, 2 шар, 3 мойынтірек, 4 ось, 5 ұстағыш, 6 бұранда, 7 өзек, 8 серіппе, 9 бұранда, индентор 10, 11 бұранда, 12 бұранда, 13 гайка, 14 қыздыру элементі, 15 вольтметр, трансформатор 16. Осылайша, индентор мен бөлік арасындағы қатаң кинематикалық байланыс қамтамасыз етіледі, ал пластина мен бөлік арасында серпімді кинематикалық байланыс орнығады.

Металл бетін қатты серпімді үтіктеу кезінде $R_a = 0,02-0,1$ мкм бетінің кедір-бұдыр параметрі қамтамасыз етіледі; қатайтылған қабаттың тереңдігі 0,2 мм-ге дейін; бірінші типтегі қалдық қысу кернеулері 200 МПа-дан асады; беткі қабаттың микроқаттылығы 4000 МПа-дан асады (серпімді бекітумен инденторды $R_a = 0,01$ мкм-ге дейін жеткізу кезінде; орташа, нақты мәндер өңделетін материалдан өндірілген).

Қолайлы күңгірт пішінді беттің кедір-бұдырлығының тұрақты профилі қалыптасады, біртекті қатайтылған қабаттың субстратындағы жоғарғы тығыз біртекті қатайтылған қабат беті айна тәрізді жылтырға ие болады. Қатты серпімді тегістеу баяу бұралудан кейінгі келесі ауысу арқылы жүзеге асырылады. Алдымен беті индентаторды қатты бекітетін құралмен тегістеледі (қатты тегістеу; әмбебап станоктарда немесе сандық бағдарламалық басқарылатын (СББ) станоктарда қолданылған жөн. Осылайша, бұралудан кейін болуы мүмкін толқын жойылады [8,9]. СББ станоктарындағы кернеуді дәл реттеу үшін сенсор қолданылады, оның дискретті сигналы автоматика контроллеріне түседі. Сенсор құралға бекітіледі немесе енгізіледі. Осылайша индентордың бөлікті (координатты) түрту сәті анықталады, яғни "нөлдік созылу". Радиусы 3 мм-ге дейінгі индентор қолданылады. Бұл жағдайда бөліктің беткі қабаты қатайтылып, алдын-ала кедір-бұдыр пайда болады. Содан кейін бөліктің беті серпімді индентаторды бекітетін құралмен үтіктеледі (серпімді үтіктеу), мысалы, Cogsdill DB-3 Diamond Burnishing Tool құралы, негізгі талап — үтіктеу қондырғысы қажетті өңдеу дәлдігін қамтамасыз етеді



Сурет 1. Қатты - серпімді тегістеуіштің конструкциясы

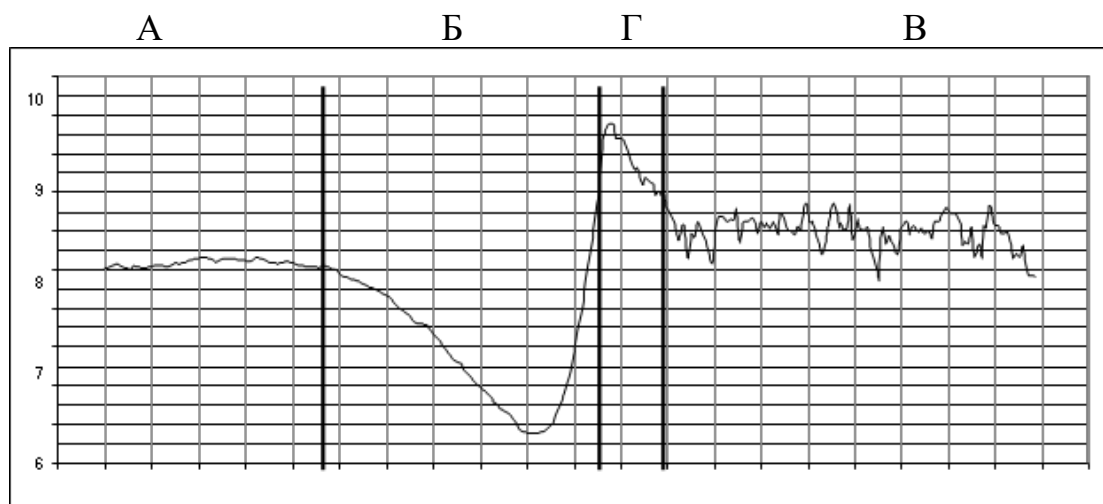
Индендорды қысу күші станоктан тыс реттеледі. Содан кейін басқару бағдарламасында тегістеу үшін координатты орнатуда тарелка кестесі қолданылады (индендорды енгізу мөлшері - тегістеу күші). Тегістеуіш алдын-ала кедір-бұдыр профилінен өтіп, Ra алдын-ала кедір-бұдыр параметрін барынша азайтады және бөлшектің беткі қабатының микроқұрылымын қалыптастырады. Радиусы 3 мм-ден асатын индендор қолданылады (үлкен радиуста тегістелген Ra бетінің кедір-бұдыр параметрі аз болады).

Токарлық-револьвер тобындағы көлбеу кереуеті бар екі калибрлі СББ станогында (немесе HYPER QUADREX 250 MSY «Mazak» және ұқсас жабдықтар) бір қатты және серпімді тегістеуіштерді қолданған жөн. Бұл ретте серпімді тегістеуіш кедір-бұдырды барынша тегістеу үшін тегістеуіштердің берілуі тең болған кезде, бойлық берудің жартысының еселенген шамасына (тақ сандар) қатты тегістеуішке қатысты қысуы тиіс. Индендор мен пластина бір-бірінің арақашықтығында станок орталықтарының осі бағытында орналасқандықтан, индендордан пайда болған беттің кедір-бұдырлығының биіктік параметрлері 4 есеге дейін азаяды. Өйткені пластина индендордан пайда болған беттің кедір-бұдыр профилінің шығыңқы бөлігінен өтеді (бұл жұмыс беруін таңдаумен қамтамасыз етіледі). Бөлшекті өңдеу кезінде-жұмыс берудегі айналу денелері, алдымен индендормен қатты тегістеу арқылы бөліктің беткі қабатының максималды микроқаттылығы және қалдық қысу кернеулері, сондай-ақ бастапқы кедір-бұдыр, содан кейін пластинамен серпімді тегістеу нанометрлік диапазондағы бөлік бетінің кедір-бұдырын және беткі қабаттың қабатты микроқұрылымын қалыптастырады.

Нәтижелер және талқылау

Бұл құралдың конструкциясы элементтердің әртүрлі радиустары есебінен жауапты бөліктердің жұмыс беттері беткі қабатының сапа параметрлерін жан-жақты қамтамасыз етуге мүмкіндік береді: индентор пластинадан аз радиусты алуы керек. Қатты серпімді тегістеуішті қолдану тәжірибесі бөліктің бетінде тығыз, біртекті қатайту қабаты пайда болатынын көрсетті. Содан кейін ол бөлшектердің жоғары өнімділік қасиеттерін қамтамасыз ететін гетерогенді қатайтылған қабатқа өтеді. Беткі қабатта қатты серпімді тегістеу нәтижесінде біртекті тығыз қатайтылған қабаты бар микроқұрылым қалыптасады (серпімді бекітумен тегістеу арқылы қалыптасады; қатты бекітпесі бар индентормен тегістелгеннен кейін материалдың пластикалық деформациясы бөліктің өлшемін өзгертуге әкелетіндіктен, серпімді бекітпесі бар индентор үшін "0" бетін анықтауда станокты баптау міндетті болып табылады; сығымдау күші біртекті қатайтылған қабатты қалыптастыру үшін қажет болатындай серпімді индентор алдын-ала кедір-бұдырдың шыңдарын тегістеп, оны толығымен "жыртып" алмауы керек, яғни, егер қажетті күштен асып кетсе - "жаңа" кедір-бұдыр пайда болады, ал егер күш аз болса-көп қабатты микроқұрылым пайда болмайды; бірінші жуықтауда белгілі бір материалды тегістеу кезінде тегістеу режимі үшін күштің жоғарғы мәніне назар аудару керек), ол қатайтылған біркелкі емес қабатқа өтеді (қатты бекіту арқылы тегістеу қалыптасады); $R_a < 0,1$ мкм бөлігі бетінің кедір-бұдыр параметріне қол жеткізіледі. Осылайша, бөліктің беткі қабатының тозуға төзімділігі және оның дұрыс геометриялық пішіні қамтамасыз етіледі.

Беткі бұзылулардың деформациясын және үтіктелген беттің пайда болу процесін зерттеу үшін өңделген беттен бастапқы бетке өту орындарының профильдері алынып тасталды (2 сурет).



А – тегістелген бет; Б – өңделетін беттің үтіктеу құралының жұмыс бетімен жанасу учаскесі; В – үтіктеу құралымен көтерілген бастапқы беттің учаскесі; Г – бұйымның бастапқы беті

2 сурет. Титан нитридімен қапталған TiN бөлшектің жұмыс беті профилограммасы:

Алынған профиль бағдарлама арқылы цифрландырылды. Алынған мәліметтер Excel электрондық кітабының парағына орналастырылды, содан кейін беттердің кедір-бұдырлығы есептелді. Жұмыс беттерінің Rz кедір-бұдырлығын өлшеу нәтижелері кестеде көрсетілген.

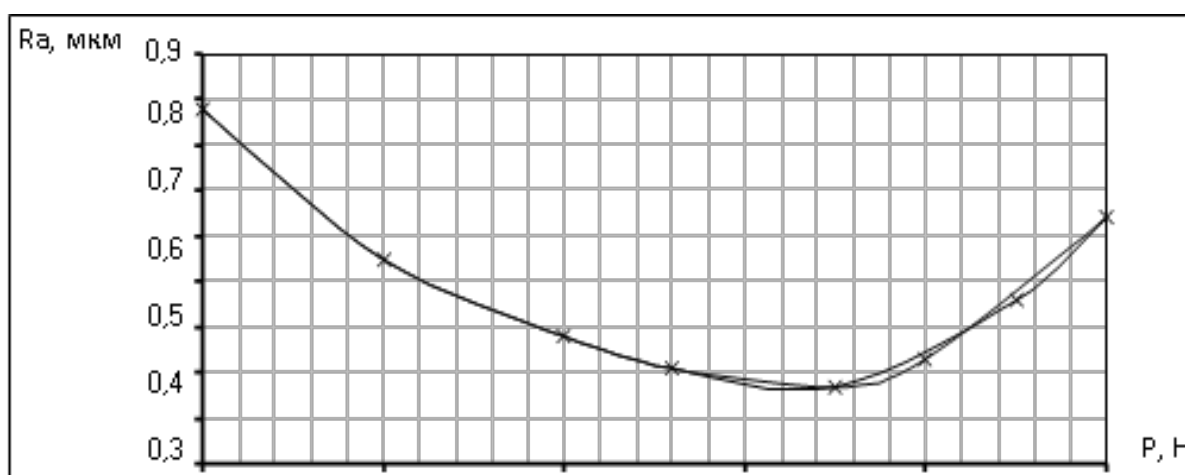
1 кесте. Тегістелген және тегістелмеген жұмыс беті TiN жабыны бар бөлшектер Rz кедір-бұдырын өлшеу нәтижелері

Профограмма учаскелері	Негізд. ұзындығы	Тік ұлғайту	Мах, мм бар бес нүктенің ординаттары	Мін, мм бар бес нүктенің ординаттары	Rz кедір бұдыр параметрі, мм
Учаске Г	0,8	10×10^3	27,2; 27,2; 26,5; 26,3; 26,7	11,6; 7,6; 14; 13,7; 13	$1,48 \times 10^{-3}$
Учаске А	0,8	10×10^3	8,2; 8,0; 7,9; 8, 2; 7,7.	5; 5,4; 5,7; 6,4; 5,5	$0,24 \times 10^{-3}$

Алмаз құралдарымен тегістелгеннен кейін беттің кедір-бұдырлығын зерттеу жоғары қаттылыққа (HRC 62...64) дейін қатайтылған, жоғары беріктігі бар TiN жабынды жоғары жылдамдықты болаттар беттік пластикалық деформацияға жақсы жауап беретінін көрсетті, бұл кезде беттің кедір-бұдырлығы күрт төмендейді және бөлшектердің беткі қабаты қатаяды.

Алмазды тегістеу келесі режимдермен жүзеге асырылды: өңдеу жылдамдығы $V = 20$ м/мин; беру – $S = 0,05$ мм/айн; радиалды күш $P = 180$ Н. Өңдеу үшін цилиндрлік жұмыс беті бар құрал қолданылды $R\phi = 1$ мм. TiN тозуға төзімді жабыны бар зерттелетін жоғары жылдамдықты болат үшін бұл комбинация $R = 1$ мм кезінде 160...210 Н аймағында орналасқан. Шағын қалыңдықтағы жабындарды үтіктеу кезінде (2-10 мкм) радиалды күштің оңтайлы мәнімен салыстырғанда шамалы жоғарылауы байланыс кернеуі ілінісу беріктігінің шамасынан асып кетуіне байланысты кедір-бұдырдың күрт төмендеуіне және жабынның қабыршақтануына әкелуі мүмкін.

Осылайша, титан нитридi бөлігінің бетін үтіктеу кезінде оңтайлы P күші негізінен жабынның қалыңдығына, негіз мен жабын материалдарының физика-механикалық қасиеттеріне және олардың адгезиясының беріктігіне байланысты. $R = 1$ мм кезінде P радиалды күшінің кедір-бұдырлардың биіктігіне әсері 3 суреттегі графиктермен көрсетілген. Үлгілерді өңдеу токарлық станокта 0,05 мкм/айн. беріліс арқылы жүзеге асырылды.



болат Р6М5 жабыны TiN

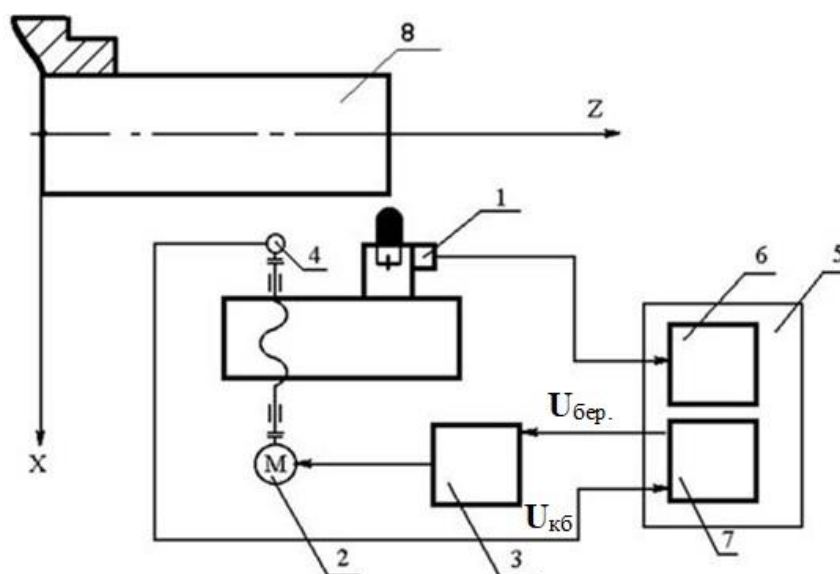
(жұмыс бетінің пішіні бар алмаз тегістеу құралы радиусы RЦ = 1 мм цилиндр;
S = 0,05 мм / айн)

3 сурет. P радиалды күштің өңделген беттің кедір-бұдырына әсері:

Өңделген беттің кедір-бұдырына S беріліс мөлшері айтарлықтай әсер етеді. Оңтайлы беріліс мәні беріліс қозғалысы бағытындағы пластикалық басып шығару мөлшеріне байланысты. S = 0,25 мкм/айн. берілу кезінде кедір-бұдырдың минималды мәніне қол жеткізіледі. Азықтандыру мөлшерінің одан әрі төмендеуі кедір бұдырға аз әсер етеді

Тәжірибелер көрсеткендей, негізгі қозғалыс жылдамдығы үтіктелген беттің кедір-бұдырына әсер етпейді. Алайда, құралдың серпімді бекітілуімен де, дайындаманың радиалды соққысы кедір-бұдырға айтарлықтай әсер етеді.

Айта кету керек, классикалық индентормен пластина түрінде үтіктегенде, оның жұмыс беті радиуспен ені бойынша профильденген кезде, бөлшектердің – айналу денелерінің сатылы беттерін толығымен үтіктеу мүмкін емес. Өйткені сфералық индентор үтіктелген бетке іргелес сатының соңына түседі және ұзындығы индентор мен пластина арасындағы қашықтыққа тең болатын аймақ үтіктелмеген күйінде қалады. Бөлшектердің – айналу денелерінің сатылы беттерін толығымен үтіктеу мүмкіндігін іске асыру үшін инденторды пластина түрінде қолдану ұсынылады, оның жұмыс беті пластинаның қалыңдығы бойынша радиуспен қосымша профильденеді. Үтіктеу кезіндегі созылу тек ондаған микрометр болғандықтан, оны орнатудағы дәлдік үтіктеуден кейін алынған бөліктің беткі қабатының сапасын анықтайды. Демек, құралды "нөлдік" кернеуге (берілген кернеу мәнінің анықтамалық нүктесі) баптаудың негізгі мәні бар, оны СББ токарлық станоктарда келесі жолмен жүзеге асыруға болады (4 сурет).



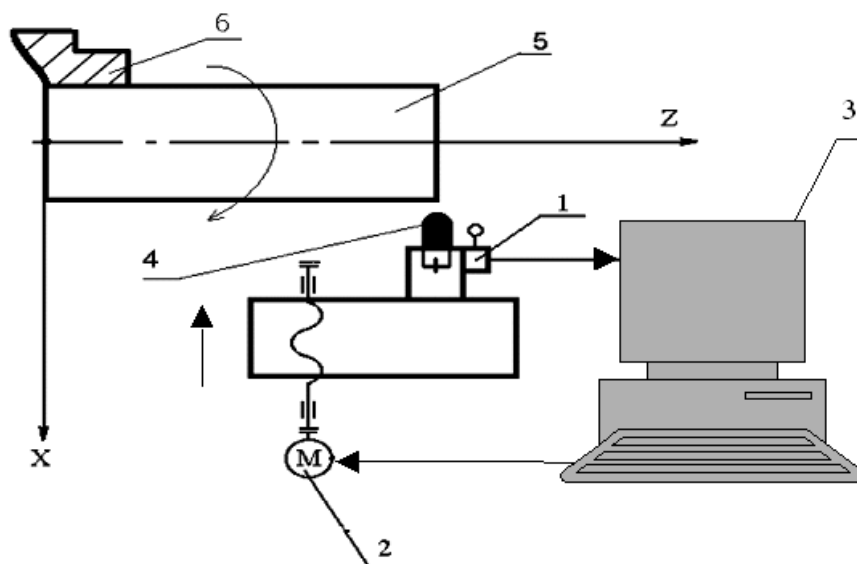
1 - дайындаманың құралмен жанасу сенсоры; 2 - беріліс жетегінің атқарушы электр қозғалтқышы; 3 - тиристорлық түрлендіргіш; 4 - беріліс жетегінің жағдайы бойынша кері байланыс сенсоры; 5 - СББ құрылғысы; 6 - электр автоматика контроллері; 7 - электр жетектерінің контроллері; 8 - дайындама

4 сурет. Берілген кернеуді автоматты түрде қамтамасыз ету жүйесі:

Берілген кернеуді автоматты түрде қамтамасыз ету жүйесі келесідей жұмыс істейді: басқару бағдарламасында өңделетін дайындамаға жылдам жүріс жылдамдығымен құралдың соққысыз жетегі 8-ден дайындаманың бетінен X координатасы бойынша $\Delta = 0,2 - 0,1$ мм шамасына дейінгі нүктеге дейін беріледі. Әрі қарай, басқару бағдарламасында Δ -дан асатын $\Delta_{\text{зад}}$ кепілдендірілген артқы жағына минималды беріліспен X бойынша жылжу беріледі. 7 Электр жетегінің контроллері тиісті $U_{\text{бер}}$ сигналын құрайды. Қосуды тиристорлық түрлендіргіш 3 координатасы бойынша X. беріліс жетегінің электр қозғалтқышы 2 берілген қозғалысты орындай бастайды. Бұл ретте берілген орын ауыстыруды және оның кері байланыс арнасы арқылы 4 ($U_{\text{кб}}$) кері байланыс сенсорынан алынған нақты мәнің салыстыру орын алады. Сонымен қатар, жанасу сенсорының күйі тексеріледі 1. Ол үшін сенсорға сауалнама жүргізіледі немесе жүйенің жоғары дәлдігіне қолжеткізілетін осы жүйенің үзіліс бойынша жұмысы ұйымдастырылады. Дайындаманы құралмен тұрту кезінде 1 электрконтактілі датчиктен дискретті сигнал 6 автоматика контроллеріне түседі, бұл интерполяция процедурасының тоқтатылуына, $U_{\text{бер}} = 0$ түзілуіне, демек, беріліс жетегінің электр қозғалтқышының тоқтауына, "жақтауды өңдеудің аяқталуы" белгісін қалыптастыруға әкеледі. Әрі қарай, берілген кернеудің мәні беріледі және жұмыс режимдерінде үтіктеу процесі басталады.

Тәжірибе көрсеткендей, кейде СББ жүйесін жетектердің электрлік бөлігін өзгертпестен сақтайтын дербес компьютермен ауыстыру орынды. Құрал дайындаманың бетіне тиген кезде пайда болатын діріл сигналдарын компьютерлік талдауға негізделген

берілген кернеуді автоматты түрде қамтамасыз ету жүйесі 5-суретте көрсетілген. Бұл жағдайда компьютердің металл өңдеу жабдықтарымен байланысы арнайы интерфейс құрылғылары арқылы жүзеге асырылады және барлық дискілер үшін өзіндік сервистік бағдарлама жасалады. Құралды "нөлдік" кернеуге орнатқан кезде дербес компьютерден басқарылатын станоктар үшін құралдың жанасуын бақылаудың қосымша құрылғыларын енгізбей-ақ жасауға болады [10].



1-діріл датчигі 1, 2-беріліс жетегінің атқарушы электр қозғалтқышы, 3-компьютер, 4 - тегістегіш, 5-дайындама 5, 6-картридж

5 сурет. Берілген кернеуді автоматты түрде қамтамасыз ету жүйесі:

Ол үшін сервистік (басқарушы) бағдарламада аспаптың өңделетін дайындамаға жылдам жүріс жылдамдығымен дайындаманың бетінен X координаты бойынша $\Delta = 0,2 - 0,1$ мм шамасына дейінгі нүктеге "соққысыз" жеткізілуі беріледі. Әрі қарай, ең аз беріліспен X бойымен, Δ -дан асатын кепілдендірілген Δ бер, артқы жағына жылжу беріледі.

Түрту пайда болғаннан кейін (тиісінше діріл сигналы пайда болады), бағдарлама станокқа қызмет көрсететін X-сервистік бағдарлама бойынша координатаны бекіту туралы хабарлама жібереді. Құралды "нөлдік" кернеуге бекіткеннен кейін берілген кернеудің мәні орнатылады. Бұл әдіс практикалық іске асыруда қарапайым және теңдеу дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Діріл сигналын талдайтын бағдарламада дірілге сезімталдықты өзгерту мүмкіндігі қарастырылған, онда "нөлдік" кернеуге жету туралы хабарлама жіберіледі. Бұл үтіктегіштің жұмыс бөлігінің геометриясы мен материалына байланысты кернеуді реттеуге мүмкіндік беру үшін (олар діріл деңгейіне айтарлықтай әсер етеді), сондықтан күшті демпферлік деңгей болған жағдайда да (діріл энергиясын сіңіру өлшемі) дірілге сезімталдық шегін арттыруға және жоғары дәлдікті сақтауға болады. Егер құрал инденторы дайындаманың бетіне тиген кезде амплитудасы қандай жиілікте өзгертетіні белгілі болса, онда бұл жағдайда бағдарламада осы (көрсетілген) жиілікте пайда болған тербелістерді бақылау мүмкіндігі қарастырылған.

Қорытынды

Бөлшектерді екі құралмен беттік пластикалық деформациямен өңдеудің біріктірілген әрлеу және қатайту технологиясы өңдеу өнімділігін арттыруға, бөлшектердің жұмыс беттерінің беткі қабатының сапа параметрлерін, соның ішінде құралды дәл баптау арқылы жан-жақты қамтамасыз етуге, бөлшектерді өндірудің минималды құнын қамтамасыз етуге және бәсекеге қабілетті құралдарды әзірлеуге және енгізуге ықпал етеді.

Авторлардың қосқан үлесі:

Булесбаева Г.Ж., Табылов А.Ө., Букаева А.З. – тұжырымдама, әдістеме, ресурстар, мәліметтер жинау.

Сүйеуова Н.Б., Кожобекова П.А. – талдау, визуализация, интерпретация, жазу, өңдеу, қаржыландыру.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Абульханов С.Р. Особенности формирования поверхностного слоя при алмазном выглаживании деталей / С.Р. Абульханов, Д.С. Горяинов, Д.Л. Скуратов, А.Н. Швецов // СТИН. – 2014. – №8. – С. 28-31.
2. Антонюк, Ф.И. Влияние шероховатости исходной поверхности на силу алмазного выглаживания / Ф.И. Антонюк, В.В. Калмыков, В.А. Федоров // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 12. – С. 171-180.
3. Губанов В. Ф. Выглаживание: качество, технологии и инструменты: монография. — М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2013. — 70 с.
4. Губанов В.Ф. Технология обработки деталей концентрированной энергией и комбинированным поверхностным пластическим деформированием // Технология машиностроения. – 2017. – № 3. – С. 10-12.
5. Губанов В.Ф. Выглаживание: качество, технологии и инструменты: монография / В.Ф. Губанов. – М: Изд-во Академия Естествознания, 2013. – 70 с.
6. Губанов В.Ф. Комплексное обеспечение профиля шероховатости и микротвердости поверхности при алмазном выглаживании / В.Ф.Губанов // Упрочняющие технологии и покрытия. – М.: Машиностроение. – 2009. – №1(49). – С. 49-52.
7. Зубков Э.И. Повышение эффективности выглаживания наружных цилиндрических поверхностей инструментом из минералокерамики: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08/ Зубков Э.И. - М., 1992.
8. Кузнецов В. П. Теоретическое обоснование и реализация наноструктурирующего выглаживания при обработке прецизионных деталей из конструкционных сталей: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.02.07 / [Институт физики прочности и материаловедения СО РАН]. – Томск, 2013. – 34 с.
9. Кузнецов В.А. Теоретические исследования зависимости геометрических параметров области контакта инструмента и заготовки от способа установки инструмента при обработке выглаживанием / В.А. Кузнецов, В.А. Васильев, Э.Н. Беженарь, И.В. Заболотная, Д.А. Сазонов, А.В. Смирнов // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. - 2012. - Т. 2. - № 2. - С. 104-109.

10. Кузнецов В.А., Заболотная И.В., Смирнов А.В., Сазонов Д.А. Технологическое обеспечение параметров макро- и микрогеометрии при выглаживании наружных цилиндрических поверхностей деталей машин./ В.А. Кузнецов, И.В. Заболотная, А.В. Смирнов, Д.А. Сазонов // Грузовик. – 2013. – № 5. – С. 35-37.

References

1. Abul'hanov, S.R. Osobennosti formirovaniya poverhnostnogo sloja pri almaznom vyglazhivanii detalej / S.R. Abul'hanov, D.S. Gorjainov, D.L. Skura-tov, A.N. Shvecov // STIN. – 2014. – №8. – S. 28-31. [in Russian].

2. Antonjuk, F.I. Vlijanie sherohovatosti ishodnoj poverhnosti na silu almaznogo vyglazhivaniya / F.I. Antonjuk, V.V. Kalmykov, V.A. Fedorov // Nauka i obrazovanie. MGTU im. N. Je. Baumana. – 2014. – № 12. – S. 171-180. [in Russian].

3. V.F. Gubanov. Vyglazhivanie: kachestvo, tehnologii i instrumenty: Monografija. — M.: Izdatel'skij dom Akademii Estestvoznaniya, 2013. — 70 s. [in Russian].

4. V.F. Gubanov. Tehnologija obrabotki detalej koncentrirovannoj jenergiej i kombinirovannym poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem // Tehnologija mashinostroeniya. — 2017. — № 3. – S. 10-12. [in Russian].

5. Gubanov, V.F. Vyglazhivanie: kachestvo, tehnologii i instrumenty: monografija / V.F. Gubanov. – M: Izd-vo Akademija Estestvoznaniya, 2013. – 70 s. [in Russian].

6. Gubanov, V.F. Kompleksnoe obespechenie profilja sherohovatosti i mikrotverdosti poverhnosti pri almaznom vyglazhivanii / V.F. Gubanov // Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija. – M.: Mashinostroenie. – 2009. – №1(49). – S. 49-52. [in Russian].

7. Zubkov Je.I. Povyshenie jeffektivnosti vyglazhivaniya naruzhnyh cilindricheskih poverhnostej instrumentom iz mineralokeramiki: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.02.08/ Zubkov Jeduard Igorevich - M., 1992. [in Russian].

8. V.P. Kuznecov. Teoreticheskoe obosnovanie i realizacija nanostrukturirujushhego vyglazhivaniya pri obrabotke precizionnyh detalej iz konstrukcionnyh stalej : avtoreferat dis. ... doktora tehniceskix nauk: 05.02.07 / [Institut fiziki prochnosti i materialovedeniya SO RAN]. – Tomsk, 2013. – 34 s. [in Russian].

9. Kuznecov V.A. Teoreticheskie issledovanija zavisimosti geometricheskix parametrov oblasti kontakta instrumenta i zagotovki ot sposoba ustanovki instrumenta pri obrabotke vyglazhivaniem / V.A. Kuznecov, V.A. Vasil'ev, Je.N. Bezhenar', I.V. Zabolotnaja, D.A. Sazonov, A.V. Smirnov // Izvestija Moskovskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta MAMI. - 2012. – T. 2. – № 2. – S. 104-109. [in Russian].

10. Kuznecov V.A., Zabolotnaja I.V., Smirnov A.V., Sazonov D.A. Tehnologicheskoe obespechenie parametrov makro- i mikrogeometrii pri vyglazhivanii naruzhnyh cilindricheskix poverhnostej detalej mashin./ V.A. Kuznecov, I.V. Zabolotnaja, A.V. Smirnov, D.A. Sazonov // Грузовик. - 2013. – № 5. – S. 35-37. [in Russian].

Г.Ж. Булекбаева¹, А.У. Табылов¹, А.З. Букаева*¹, Н.Б. Суйеуова¹, П.А. Кожобекова²

¹НАО «Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова», Актау, Казахстан

²НАО «Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова», Шымкент, Казахстан

Комплексное обеспечение параметров качества поверхностного слоя деталей инновационным методом комбинированной отделочно-упрочняющей обработки

Аннотация. Надёжность и долговечность изделий современного машино-строительного производства в значительной степени зависят от качества их поверхностного слоя, и это диктует необходимость применять такие методы обработки, которые наряду с улучшением микрогеометрии поверхности детали изменяли бы в нужном направлении структуру, физико-механические свойства и напряжённое состояние поверхностного слоя. В статье исследован комбинированный метод поверхностного пластического деформирования, сочетающий жесткое и упругое выглаживание и позволяющий комплексно обеспечивать параметры качества поверхностного слоя деталей. Рассмотрены возможности использования комбинированного инструмента для жестко-упругого выглаживания и системы автоматического обеспечения заданного натяга при выглаживании. Использование системы автоматического обеспечения заданного натяга при выглаживании позволяет с высокой точностью настраивать силовые параметры процесса. Практическое значение работы - установлено, что в результате жестко-упругого выглаживания в поверхностном слое образуется микроструктура с однородным плотным упрочненным слоем, формирующая регулярный профиль шероховатости поверхности благоприятной притупленной формы и обеспечивающая повышенную износостойкость поверхностного слоя детали и её правильную геометрическую форму.

Исследование в данной статье направлено на решение этих проблемных вопросов и проводится в рамках проекта АР19680395 «Исследование напряженно-деформированного состояния наплавляемых деталей и разработка метода снижения их деформаций в процессах поверхностного пластического деформирования» по грантовому финансированию Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Ключевые слова: поверхностный слой детали, отделочно-упрочняющая обработка, поверхностное пластическое деформирование, жесткое и упругое выглаживание, микроструктура, шероховатость поверхности, индентор.

G.Zh. Bulekbayeva¹, A.U. Tabylov¹, A.Z. Bukayeva*¹, N.B. Suieyova¹,
P.A. Kozhabekova²

¹NAO Caspian University of Technologies and Engineering named after Sh. Yessenov,
Aktau, Kazakhstan

²NAO M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

Comprehensive provision of quality parameters of the surface layer of parts by an innovative method of combined finishing and hardening treatment

Abstract. The quality of the surface layer significantly affects the reliability and durability of modern machine-built products. Therefore, it is necessary to use processing methods that improve the microgeometry of the part surface and positively impact the structure, physical and mechanical properties, and stress state of the surface layer. The article investigates a combined method of surface

plastic deformation, combining rigid and elastic smoothing and allowing to comprehensively ensure the quality parameters of the surface layer of parts. The possibilities of using a combined tool for rigid-elastic smoothing and a system for automatically providing a given tension during smoothing are considered. The use of an automatic system to ensure a given tension during smoothing allows you to adjust the power parameters of the process with high accuracy. The practical significance of the work is that as a result of rigid elastic smoothing, a microstructure with a homogeneous dense hardened layer is formed in the surface layer, forming a regular surface roughness profile of a favorable blunted shape, and providing increased wear resistance of the surface layer of the part and its correct geometric shape.

The research in this article is aimed at solving these problematic issues and is carried out within the framework of the AP19680395 project "Study of the stress-strain state of deposited parts and development of a method for reducing their deformations in the processes of surface plastic deformation", under grant funding from the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: surface layer of the part, finishing-strengthening treatment, surface plastic deformation, hard and elastic smoothing, microstructure, surface roughness, indenter.

Авторлар туралы мәлімет:

Булекбаева Г.Ж. – PhD, машина жасау және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры, КеАҚ «Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті», Ақтау, Қазақстан

Табылов А.Ө. – т.ғ.к., машина жасау және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры, КеАҚ «Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті», Ақтау, Қазақстан

Букаева А.З. – хат-хабар авторы, PhD, машина жасау және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры, КеАҚ «Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті», Ақтау, Қазақстан

Суйеуова Н.Б. – т.ғ.м., машина жасау және көлік кафедрасының аға оқытушысы, КеАҚ «Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті», Ақтау, Қазақстан

Кожабекова П.А. – т.ғ.к., ақпараттық жүйелер және модельдеу кафедрасының доценті, КеАҚ «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті», Шымкент, Қазақстан

Bulekbayeva G.Zh. – PhD, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Aktau, Yessenov University, Kazakhstan.

Tabylov A.U. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan.

Bukayeva A.Z. – corresponding author, PhD, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Aktau, Yessenov University, Kazakhstan.

Suiyeva N.B. – master of technical sciences, Senior lecturer of the Department of Mechanical Engineering and Transport, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan.

Kozhabekova P.A. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information systems and modeling, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan.



IRSTI 55.49.05;
Scientific article

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-21-33>

On the possibility of changing the trajectory of a projectile or a rocket based on aerodynamic impact in the shock wave zone

Zhakatayev T. A.*¹ , Konysbekova G.K.¹

¹ L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana

(E-mail: ¹Toksanzh@yandex.kz, ¹Gulbarshyn_1991@mail.ru)

Abstract. A physical hypothesis is proposed that it is possible to change the design trajectory of the projectile on the basis of mechanical action on the entire volume of shockwave zones with a unilateral, asymmetric presence of the second projectile. Deviating from the original trajectory results in a positive result when it comes to a defensive task.

A new semi-empirical model has been developed and compiled, which allows you to calculate the trajectory of the projectile taking into account the air resistance to movement.

In the new model, it is recommended that only four easily detectable values be used in upcoming experiments:

the initial departure speed v_0 , the maximum altitude y_{max} , the maximum flight range x_2 and the full time. The calculation scheme uses iterative calculations. On the basis of which the values of numerical coefficients in the semi-empirical model are specified. The physical idea that external powerful laser radiation can heat the side surface of the projectile and the entire zone of wave jumps of the seal is justified. On one side of the semi-plant, that is, it is one-way heating. The asymmetrical thermal state on both sides of the missile may cause the missile or projectile to deviate from the previously assigned heading. This circumstance is also in favor of the proposed idea.

Keywords: wavefront, projectile, rocket, aerodynamic resistance, calculations, trajectory, iteration.

1. Introduction

In modern combat and military technologies, rocket attacks from long distances play a leading role. The way when numerous troops are fighting figuratively speaking "head-on" with machine guns in hand is a thing of the past. This method of warfare is apparently outdated, as it leads to great human losses on both sides. This "old" method of warfare will be effective only when conducting some very local special operations, that are characterized by short-term, fast operations, and very small human losses.

The utilization of various missiles (small, medium, and long-range) and long-range artillery shells is very effective for the targeted large-scale destruction of various enemy objects. In this article, we are talking about distances from several dozen at a minimum and up to several thousand kilometers at a maximum.

In our article, we focus on new protective measures from various missile attacks. More precisely, this paper describes a method to forcefully change the trajectory of a flying combat projectile. Protective actions are designed to prevent a missile or a projectile from hitting exactly the assigned target according to the preliminary combat calculation. Instead, the projectile deviates from its trajectory and hits a different, non-intended place, which nullifies the effect of its use. The proposed method can be used as the last option for defense against enemy projectiles when traditional interception methods such as direct kinematic hits or a proximity explosion have failed.

The general theory of gas-dynamic currents is presented in works [1-11]. Theoretical foundations of probabilistic models are presented in [12]. The same sources provide basic formulas that describe the ratios of physical quantities and parameters of shock waves. The theory of projectile flight in an ideal environment that does not exert resistance to movement is detailed in the works [13-15].

2. The theoretical solution to the problem

Figure 1 shows a photograph of a flying projectile at supersonic speed, which is taken from [1]

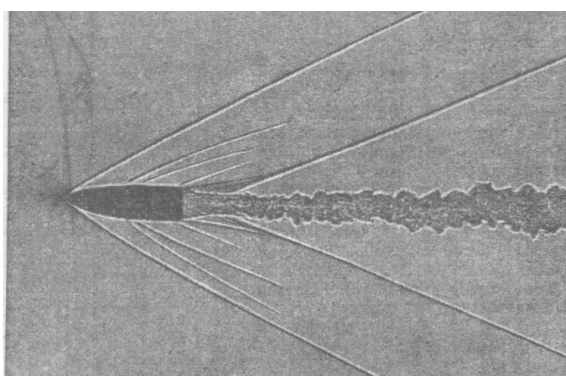


Figure 1 – Photo of a projectile flying with a supersonic speed [1]

Figure 2 shows the supersonic flow pattern and the pressure distribution along the surface of the curved body from the work [1].

These two figures show that along the surface of the streamlined body: 1) Not one, but several shock wave fronts occur; 2) Along the transverse Y coordinate, shock waves have dimensions several times larger than the diameters of the transverse size of the projectile or rocket itself. The primary loss of initial rocket or projectile momentum occurs at these shock waves.

The new idea that we propose is the following. A flying projectile (or rocket) can be approached by another projectile from behind and it will be in the inner zone of this shock wave. That is, they fly almost parallel in the same direction. This situation is shown in Figure 3. We will call it projectile number 2. The initial, flying combat projectile (or missile) is designated with the number 1. Let's say that projectile 2 is inside the shock wave zone above projectile 1, Figure 3. We will analyze the situation by evaluating the change in the wave resistance of the flying projectile 1. Figure 3 shows the situation where projectile 2 is close to the main projectile 1 inside the zone of its supersonic wavefront. That is, they fly almost parallel in the same direction, close to each other.

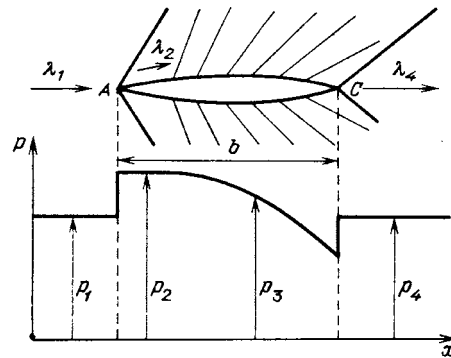


Figure 2 – Diagram of supersonic flow around curved arc bodies and wave jumps (shock waves) [1]

Explanations to Figure 3: 1-first main projectile; 2-second projectile that shoots down the main projectile 1; 3, 4-shock wavefronts from the first projectile; 3', 4'- shock wavefronts displaced in space from the second projectile; 5, 6-tail guide vanes.

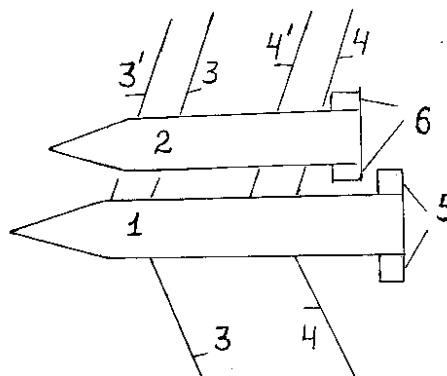


Figure 3 – Aerodynamic interaction diagram two shells or two missiles

As a result of projectile 2 being inside the wave zone of projectile 1, the position of the shock wave front of the first main projectile or missile is displaced. The main shock wave 3 in Figure 3 will shift either downstream or upstream to the frontal front of the projectile, 3'. Other shock waves will also be altered. The angles of their inclination will also be changed. Perhaps even the shock wave front will have a slightly curved shape. As a result of these processes, projectile 1 will for some time experience asymmetrical and unequal levels of pressure distribution, and the general aerodynamic drag on the upper and lower sides of the surface will be different. In other words, the resistance of the shock wave branches in the space below projectile 1 will be different from the resistance of the shock wave branches in the space above it.

As a result, the trajectory of projectile 1 will bend downward or upward toward the ground. That is, this projectile will deviate from the original and planned trajectory. This result is what we need. Therefore, a brief presence of the second projectile in any area of the shock waves will result in a deflection of the trajectory of the first projectile. That is, it will fall to another, not planned, not calculated point. Thus, the task of defense will be achieved based on the fact that the projectile will hit (or fall into) a different location.

We considered the case of the smallest effect of the second projectile, when it flies along a parallel trajectory or along a tangent trajectory, without a direct collision with projectile 1. If projectile 2 has a direct actual physical collision (impact) with projectile 1, then the expected effect will be greater. In the case when projectile 2 experiences a collision, the change in the trajectory of projectiles 1 and 2 is easily explained on the basis of the law of maintaining the total momentum of the system.

Let's take a closer look at this situation. With such an almost parallel flight of these two projectiles, the likelihood of the influence of the second projectile on the first increases sharply. We didn't specifically use the word "hit" here. Since the expected result can be achieved not only as a result of a clean hit (a precise mechanical collision) but also as a result of their parallel and close flight close to each other for some short period of time. This can be proved by calculating and estimating the probability of their mutual "interaction". The term "interactions" that we use means the result of their mutual mechanical influence on each other during the time when they are nearby in the zone of effective mutual influence. This is achieved by the fact that during a certain duration of time, their trajectories are almost or close to parallel. So, the result of their "interaction" is estimated by determining the probability that the volumes of their shock waves' effective zones (or wave fronts) turn out to be merged. That is when the shock waves penetrate each other.

Figure 3 shows a scheme of aerodynamic interaction in the following combination: two missiles, two shells, or a rocket and a shell. Due to the fact that the second projectile is located in the zone of shock waves of the main shell, the front of shock wave 3 moves away and is located at the new position as shock wave 3'. In the same way, the primary wave 4 changes its position and becomes the shock wave 4'. That is, the shock wave fronts are displaced along the longitudinal coordinate x . For this reason, the total drag force at the top of projectile 1 will be smaller than at its bottom. Such asymmetry of the drag force will result in the deflection of the trajectory of projectile 1. This completes the proof.

Consider the theoretical solution in two versions: 1) the air resistance force is constant $F_a = const$; 2) the air resistance force is variable and is a function of the velocity of the projectile $F_a = F(v)$ missile.

Solving Problem 1.

Dynamic equations in Cartesian coordinates are

$$\begin{cases} m \frac{dv_x}{dt} = -F_{a,x}, \\ m \frac{dv_y}{dt} = -F_{a,y} - mg. \end{cases} \quad (1)$$

The equation for v_y is solved separately in two parts: 1) until the point of maximum elevation $0 \leq t \leq t_1$; 2) from t_1 moment until the end of flight (falling to the ground) t_2 , $t_1 \leq t \leq t_2$. Thus, the time of the full flight is $t_s = t_1 + t_2$. At the end of the flight, the projectile falls to the ground.

Solving these equations we get

$$F_{a,y} = \frac{mv_{0,y}}{t_1} - mg, \quad (2)$$

$$v_{y,2} = \left(g - \frac{F_{a,y}}{m}\right)t_2, \quad (3)$$

where $v_{y,2}$ – the y-axis velocity projection at the end of the flight.

From the first equation of the system (1) we get

$$F_{a,x} = \frac{(v_{0,x} - v_{x,2})m}{t_s}, \quad (4)$$

where $v_{x,2}$ is the velocity of the projectile at the end of the flight, that is, before it hits the target, which is located on the ground.

Equation (4) allows you to use it in reverse order, that is, you can calculate the $v_{x,2}$. Assuming that $F_{ax} \approx F_{ay}$. Next, the total drag force $F_s = \sqrt{F_{a,x}^2 + F_{a,y}^2}$.

Solving Problem 2.

In this case, the resistance force is variable and is a function of the velocity

$$F_a = F(v).$$

Equation for y projection is written as

$$m \frac{dv_y}{dt} = -F_{a,y}(v) - mg. \quad (5)$$

The air resistance force can be represented as the following nonlinear function of velocity

$$F_{a,y}(v) = av_{0,y} + bv_y + cv_y^2 \quad (6)$$

In turn, in the first approximation $v_y = kt$ – some linear function with time t . It is due to the presence of wave aerodynamic drag that $k \neq g$.

Equations (5), as well as (1), are solved in two parts separately: 1) to a point of the maximum elevation $0 \leq t \leq t_1$; 2) from the moment of the beginning of descent t_1 , until the end of falling $t_1 \leq t \leq t_2$.

Part 1.

For the moment of t_1 we have a solution

$$v_{0,y} = gt_1 + \alpha a + \beta b + \gamma c, \quad (7)$$

where

$$\alpha = \frac{v_{0,y}t_1}{m}, \beta = \frac{kt_1^2}{2m}, \gamma = \frac{k^2t_1^3}{3m}. \quad (8)$$

For the purposes of our tasks, equation (7) is interesting. As yet unknown coefficients a, b, c are determined by solving matrix equation (7) which is obtained at the given values $(v_{0,y})_i$ and $(t_1)_i$ – (for example, measured from the experiment).

Since there are only 3 unknown coefficients, then in our case three equations and three values at $i = 1, 2, 3$ are enough. However, if in equation (6) we would add an additional term to the power of 3, then accordingly $i = 1, 2, 3, 4$. For example, it can be $F_{a,y}(v) = av_{0,y} + bv_y + cv_y^2 + dv_y^3$. However, it is most likely that a quadratic function (6) is sufficient. Since in this case, with respect to time t , we have a cubic equation. As you know, third-degree splines accurately describe a variety of highly curved profiles.

Part 2.

Down, descent. For it, in equation (5), the gravity term will be written with a plus sign

$$m \frac{dv_y}{dt} = -F_{a,y}(v) + mg. \quad (9)$$

Solving equation (9), we get

$$v_{y,2} = gt_2 - \sigma_1 t_2^2 - \sigma_2 t_2^3, \quad (10)$$

where

$$\sigma_1 = \frac{bk}{2m}, \sigma_2 = \frac{ck^2}{3m}, \quad (11)$$

$v_{y,2}$ – the speed component before hitting the target, its final value.

Part 3.

We solve the first equation of (1) for v_x . In this case

$$F_{a,x} = av_{0,x} + bv_x + cv_x^2. \quad (12)$$

Solving (1) and taking into account (12) we will get

$$v_{x,2} = v_{0,x} - \frac{v_{0,x}}{m} at_s - \sigma_3 t_s^2 - \sigma_4 t_s^3, \quad (13)$$

where $v_{x,2}$ – is the value of the velocity projection before falling, hitting the target, this is the final velocity, and

$$\sigma_3 = \frac{bk_1}{2m}, \quad \sigma_4 = \frac{ck_1^2}{3m}, \quad k = k_1 \pm g.$$

From the formula $\operatorname{tg} \alpha' = \frac{v_{y,2}}{v_{x,2}}$, the angle of incidence of α' can be determined. And $\alpha' > \alpha$. In

case of medium resistance the flight range decreases. In an environment that has no resistance, the range will be longer. Knowing α' and x_s we can estimate the strength or the drag resistance level of air.

Equations (6) to (13) allow iterative solutions and refinement of coefficients. The fact is that in the first approximation and at the first, initial iteration, we can take the $k \approx g$ – acceleration of free fall. k_1 is determined by experimental data using formula (13) and x_2 . And equation (7) must be used twice within the iteration cycle. When iterated, the values of k_1 either decrease or increase with a certain fine $h_k = (0.01 \div 0.05)k_1$ step size. This is determined from the analysis of the obtained numerical results. So to speak, visual control of values with different variations.

Alternately: first as (7) and then as (10).

$$v_{y,1} = 0 = v_{y,0} - gt_1 - \frac{v_{0,y}}{m} at_1 - \sigma_1 t_1^2 - \sigma_2 t_1^3. \quad (14)$$

(14) are equations (5), (7) written for a time t_1 . This is the time of maximum elevation.

Signs for k_1 are determined after correction, re-clarification of $t_1, t_2, t_s, v_{0,y}, y_{max}, x_2, v_f$ from the experiment. That is, after iterative calculations. Formula (7) is written in such a way as to find unknown coefficients a, b, c . And formula (10) is written as such in order to calculate the velocity value for any given time value t .

We have some experience in developing algorithms and compiling our computing programs in C++ and Visual Fortran. Which make it possible to make detailed calculations at different variations of angles of attack, flight path and initial conditions of departure from the launcher. Taking into account the iteration. Our calculation scheme can include algorithms for fast, emergency determination of the flight path of projectile 1 from experimental data of the induced laser beam and computer analytical calculation of its flight path.

All the above is supplemented and explained by Figure 4: 1-trajectory in the presence of air resistance; 2 – trajectory in the absence of air resistance; v_0 – initial speed; $v_f = v_2$ – finishing speed; α' – drop angle in case of air resistance accounting; x_2 – maximum flight range.

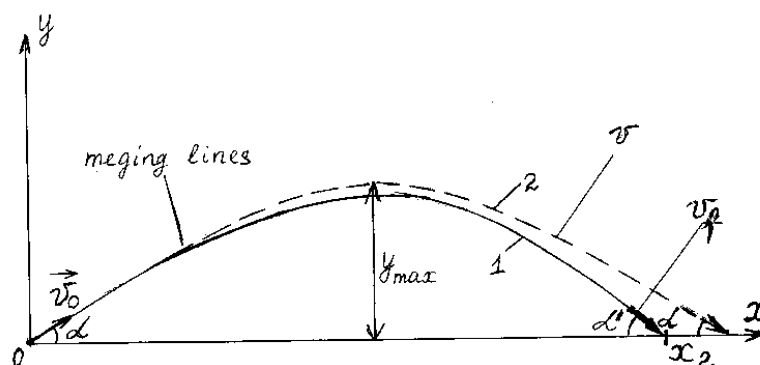


Figure 4 - Diagram of projectile flight

Figures 5 show a diagram from which the effective areas of aerodynamic interaction of two shells or two missiles can be calculated. If $\delta_1 \approx 0$, the probability of success can be taken approximately as 1. Next, we assumed that the spread of δ_1 values obeys the function of the normal distribution of random variables. Based on this approach, it is possible to estimate the approximate number of shells launched so that, with a probability of, for example, 95%, be sure that an enemy missile or projectile will be shot down.

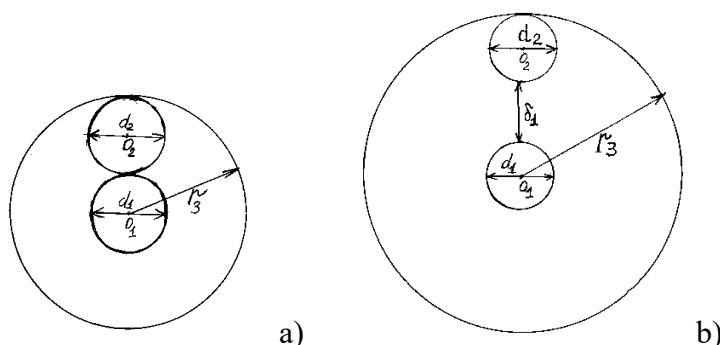


Figure 5 - Diagram of mutual location

The two-dimensional probability density function for this representation is [12]

$$p(r, \varphi) = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{r^2}{2}}.$$

Hence, the probability itself for an arbitrary r_3 radius will appear as the next double integral

$$P(r, \varphi) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{r_3} \int_0^{2\pi} e^{-\frac{r^2}{2}} r dr d\varphi. \quad (15)$$

(15) is the frequency of projectiles flying through the circle area with a radius of r_3 .

It turns out that in order to successfully hit a missile (or projectile) with an attacking missile (or projectile), it is best to fly, catch up, and hit it from behind. First, track it from behind, and only then catch up and hit it while flying along its own trajectory. In other cases of approach

(attacks from the front or side), the likelihood of missing or not hitting the target (slipping past) will be greater.

And finally, the last. In sufficiently low earth orbits, it is possible to arrange a device that will emit very powerful narrowly directed laser beams, Figure 6. In this case, very strong one-way heating of the entire side surface of the rocket or projectile can be carried out. The entire adjacent wave zone will also be heated. The highly heated air in the wave zone will significantly change the physical characteristics and physical condition of this section of the shock wave front. That is, in one half-space, shock waves will overheat greatly, and in another half-space, there will be no changes. As a result, the asymmetrical aerodynamic drag of these wave portions will cause the projectile path to deviate from the original intended course. Thus, our goal will be achieved, the trajectory will change and the projectile will hit another unnecessary point.

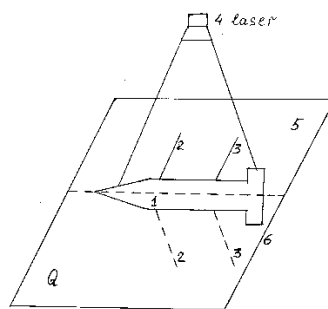


Figure 6 – Shock Thermal Impact Diagram wave zone and half side projectile surface

Explanations to Figure 6: 1 – projectile; 2, 3 lines of shock wave fronts; 4-laser unit; Q is a plane that divides the entire space into two half-spaces 5 and 6.

Such influence or impact on the projectile is much better, easier, and more effective than the traditional way when they try to completely burn, melt, destroy, or detonate this shell or rocket with a laser beam. With this method, an excessively large, almost impossible, very costly overspending of thermal energy will be required. This is far from reality.

3. Discussion

The semi-empirical theory developed by us, however, is suitable only for the flight and fall of bodies in a field of constant gravitational attraction. If there were no gravity, it would be impossible to close the system of equations to calculate unknown semi-empirical coefficients, which simply allow you to take into account the resistance of the medium to the flight of the projectile as a nonlinear function of time.

As a development of this approach, we plan to further consider the following possibilities. To develop a semi-empirical theory, when the flight of a rocket or a projectile occurs with a variable mass. For example, this is the real situation when gradual consumption of fuel takes place.

In work [15], it is noted that in previous research the function of medium resistance in the following different types: $F(v)=av$, $F(v)=bv^2$, $F(v)=av+bv^2$ were used. However, the further use of

this formula differs from our method. Namely, these equations for $F(v)$ used previously known works to solve the following differential equation [15]

$$\frac{d(v \cos \vartheta)}{d\vartheta} = \frac{vF(v)}{g}, \quad (16)$$

where $v=\psi(\theta)$. As indicated in the same source [15], the integration of equation (16) with an unknown function $v=\psi(\theta)$ and with unknown coefficients a, b has insurmountable difficulties. That is, further calculation techniques and methods for obtaining final results differ from ours. This is easy to see from [15].

You can shoot down a rocket or a projectile with a direct hit. It is also possible to change its trajectory based on the explosion of another projectile in close proximity to it. These are common techniques. However, our method is designed as a backup for the worst-case scenario, in the event of an invasion into the shock wave zone, it is also possible to change the flight path. As a result, even this so-called "weak impact" can achieve the desired goal. Then the projectile or rocket will not hit the intended point, at which the projectile was originally aimed at.

Laser correction of the heading is possible only if there is no rotation of the projectile. Consideration of the question of the rotation of the rocket itself and the effect of this rotation on the gas boundary layer is a large separate and deep topic for self-study. So far, we do not touch on this issue.

4. Conclusions

4.1. A physical hypothesis is proposed that it is possible to change the design trajectory of the projectile on the basis of mechanical action on the entire volume of shockwave zones with a unilateral, asymmetric presence of the second projectile. Deviating from the original trajectory results in a positive result when it comes to a defensive task.

4.2. A new semi-empirical model has been developed and compiled, which allows you to calculate the trajectory of the projectile taking into account the air resistance to movement. From the initial experiment, only four easily detectable quantities are used: the initial departure speed v_0 , the maximum elevation y_{\max} , the maximum range x_2 , and the total flight time. The design scheme can be used in the design and operation of shells and missiles both guided, homing and unguided. The air resistance force is modeled as a nonlinear function of velocity. It is represented in the form of a polynomial of the third degree from time to time.

4.3. The physical idea that external powerful laser radiation can heat the side surface of the projectile and half-space of the entire zone of shockwaves is proposed. The asymmetrical thermal state on both sides of the missile may cause the missile or projectile to deviate from the previously assigned flight path. This circumstance is also in favor of the proposed idea.

5. contribution of the authors

1 author: general guidance, problem setting, solving theoretical issues, calculations, conclusion.

2 author: formula checking, calculation checking, article design, typing.

References

Abramovich, G. N. Prikladnaya gazodinamika. Part 2. [Applied gas dynamics] (Moscow, Nauka, 1991, 305 p.) [in Russian].

Abramovich, G.N. Prikladnaya gazodinamika. Part 1. [Applied gas dynamics] (Moscow, Nauka, 1991, 601 p.) [in Russian].

Krasnov N. F. (editor), Koshevoy V. N., Danilov A. N., Zakharchenko V. F. Rocket Aerodynamics (Moscow, Vysshaya shkola, Press, 1968, 1047 p.) [Translation in English National aeronautics and space administration, Washington, June 1971].

Hemsha M, Neilsen J (editors). Aerodinamika raket. Book 1. Introduction to aerodynamics [Aerodynamics of rockets] (Moscow, Mir, 1989, 433 p.) [in Russian].

Hemsha M, Neilsen J (editors). Aerodinamika raket. Book 2. Aerodynamic calculation methods [Aerodynamics of rockets] (Moscow, Mir, 1989, 512 p.) [in Russian].

Krasnov N. F. (editor). Prikladnaya aerodinamika [Applied aerodynamics] (Moscow, Vysshaya shkola, 1974, 731 p.) [in Russian].

Rakhmatulin H. A., Sagomonyan A. Ya., Bunomovich A. I., Zverev I. N. Gazodinamika [Gas dynamics] (Moscow, Vysshaya shkola, 1965, 722 p.) [in Russian].

Loytsyansky, L. G. Mekhanika zhidkosti i gaza [Fluid and gas mechanics] (Moscow, Drofa, 2003, 840 p.) [in Russian].

Houghton, E.L., Carpenter, P.W. Aerodynamics for Engineering Students. (Fifth edition published by Butterworth-Heinemann 2003, 614 p.) [in English].

John D. Anderson. Fundamentals of Aerodynamics (New York, McGraw-Hill Companies, 2001, 912 p.) [in English].

Bai Shi I. Vvedenie v teoriyu techeniy szhimaemoi zhidkosti [Introduction to the theory of compressible fluid flow] (Moscow, Foreign Publishing House literature, 1961, 413 p.) [in Russian].

Hald A. Matematicheskaya statistika s technicheskimi prilozheniyami [Mathematical Statics with Technical Applications] (Moscow, Foreign Publishing House, 1956, 664 p.) [in Russian].

Zeldovich Y.B., Jaglom, I. M. Vysshaya matematika dlya nachinayushchikh fizikov [Higher Mathematics for Beginner Physicists] (Moscow, Nauka, 1982, 510 p.) [in Russian].

Loitsyansky L. G., Lurie A. I. Kurs teoreticheskoi mehaniki. T.1 [Course of Theoretical Mechanics. Book 1] (Moscow, Drofa, 2006, 449 p.) [in Russian].

Loitsyansky L. G., Lurie A. I. Kurs teoreticheskoi mehaniki T.2 [Course of Theoretical Mechanics. Book 2] (Moscow, Drofa, 2006, 721 p.) [in Russian].

Жакатаев Т.А.*¹, Конысбекова Г.К.¹

*¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана.
(e-mail: ¹Toksanzh@yandex.kz , ¹Gulbarshyn_1991@mail.ru)*

**О возможности изменения траектории снаряда или ракеты
на основе аэродинамического воздействия в зоне ударных волн**

Аннотация. Обоснована физическая гипотеза о том, что можно изменить расчетную траекторию снаряда на основе механического воздействия на весь объем волновых зон сопротивления при одностороннем, несимметричном вторжении второго снаряда. Отклонение от первоначальной траектории приводит к положительному результату, когда речь идет об оборонительной задаче.

Разработана и составлена новая полуэмпирическая модель, которая позволяет рассчитать траекторию снаряда с учетом сопротивления воздуха движению. В новой модели рекомендовано, чтобы в предстоящих экспериментах использовать только четыре легко определяемые величины: начальная скорость вылета v_0 , максимальная высота подъема y_{\max} , максимальная дальность полета x_2 и полное время. Расчетная схема использует итерационные вычисления, на основе которых уточняются значения численных коэффициентов в полуэмпирической модели. Обоснована физическая идея о том, что внешнее мощное лазерное излучение может нагревать боковую поверхность снаряда и всю зону волновых скачков уплотнения с одной стороны полупространства, то есть это односторонний нагрев. Несимметричное тепловое состояние с двух сторон ракеты может привести к отклонению ракеты или снаряда от прежде назначенного курса. Данное обстоятельство также в пользу предлагаемой идеи. Расчетная схема может найти применение при проектировании и эксплуатации снарядов и ракет как управляемых, самонаводящихся, так и неуправляемых.

Ключевые слова: волновой фронт, снаряд, ракета, аэродинамическое, сопротивление, расчеты, траектория, итерация.

Жакатаев Т.А.*¹, Конысбекова Г.К.¹

*¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана.
(e-mail: ¹Toksanzh@yandex.kz , ¹Gulbarshyn_1991@mail.ru)*

**Соққы толқындары аймағындағы аэродинамикалық
әсер ету негізінде снаряд немесе зымыран траекториясын өзгерту мүмкіндігі**

Андатпа. Мақалада екінші снарядтың біржақты, симметриялы емес, кіруі кезінде кедергінің толқын аймақтарының барлық көлеміне механикалық әсер ету негізінде снарядтың есептік траекториясын өзгертуге болатындығы туралы физикалық гипотеза негізделген. Бастапқы траекториядан ауытқудың қорғаныс міндеті туралы сөз болғанда бұл оң нәтижеге әкеледі.

Қозғалысқа ауа кедергісін ескере отырып, снарядтың траекториясын есептеуге мүмкіндік беретін жаңа жартылай эмпирикалық модель әзірленді және жасалды. Жаңа модельде алдағы эксперименттерде оңай анықталатын төрт шаманы ғана пайдалану ұсынылады: v_0 – ұшып

шығуының бастапқы жылдамдығы, u_{\max} көтерудің ең жоғары биіктігі, ұшудың ең жоғары қашықтығы x_2 және толық уақыт. Есептеу схемасы итерациялық есептеулерді пайдаланады. Олардың негізінде жартылай эмпирикалық үлгідегі сандық коэффициенттердің мәні нақтыланады. Сыртқы қуатты лазерлік сәулелену снарядтың бүйір бетін және тығыздаудың толқын секірістерінің барлық аймағын қыздыра алады деген физикалық идея негізделген. Кеңістіктің бір жарты жағынан әсер ету, яғни бұл біржақты жылыту. Зымыранның екі жағынан симметриялық емес жылу жағдайы зымыранның немесе снарядтың бұрын белгіленген бағыттан ауытқуына әкелуі мүмкін. Бұл жағдай да ұсынылып отырған тұжырымды айқындауға көмектеседі. Есептеу схемасы снарядтар мен зымырандарды жобалау және пайдалану кезінде басқарылатын, өздігінен басқарылатын және басқарылмайтын түрде де қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: толқын аймағы, снаряд, ракета, аэродинамика, кедергі, есептеулер, траектория, итерация.

Сведения об авторах:

Жакатаев Токсан Айыпханович – для корреспонденции, доктор технических наук, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева. ул. Кажымукана, 13, 010010, г. Астана, Казахстан. E-mail: Toksanzh@yandex.kz

Коньсбекова Гульбаршын Куатбековна, магистр технических наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева. ул. Кажымукана, 13, 010010, г. Астана, Казахстан. E-mail: Gulbarshyn_1991@mail.ru

About authors:

Zhakatayev Toksan Aiypkhanovich – for messages, Doctor of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Electric Power Engineering, L. N. Gumilyov ENU. Kazhymukan str., 13, 010010, Astana, Kazakhstan. E-mail: Toksanzh@yandex.kz

Konyzbekova Gulbarshyn Kuatbekovna, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Electric Power Engineering, L.N. Gumilyov ENU. Kazhymukan str., 13, 010010, Astana, Kazakhstan. E-mail: Gulbarshyn_1991@mail.ru

Авторлар туралы мәліметтер:

Жакатаев Токсан Айыпханұлы – хабарласу үшін, техника ғылымдарының докторы, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ көлік-энергетика факультеті электроэнергетика кафедрасының аға оқытушысы. Қажымұқан көшесі, 13, 010010, Астана қ., Қазақстан. E-mail: Toksanzh@yandex.kz

Коньсбекова Гульбаршын Куатбекқызы – техника ғылымдарының магистрі, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ көлік-энергетика факультеті электроэнергетика кафедрасының аға оқытушысы. Қажымұқан көшесі, 13, 010010, Астана қ., Қазақстан. E-mail: Gulbarshyn_1991@mail.ru



IRSTI 73.29.11
Scientific article

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-34-49>

Simulating the process of compacting the railway bed

Akbope Karsakova¹, Adil Kadyrov¹, Igor Pak*¹, Elvira Kyzylbaeva¹

¹*Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan*

(E-mail: karsakova84@mail.ru, adilkadyrov51@gmail.com, i.pak@mail.ru, elvirakiz@mail.ru)

Abstract. The article solves the problem of the interaction between sealing plate and the railway bed. Numerical results have been obtained in the process of three-dimensional modeling using the finite element method, which allow demonstrating volumetrically the stress-strain state of the railway bed and using it in the calculation methodology.

Keywords: compaction, railway bed, loose medium, viscous medium, finite element method.

Received 09.11.2023. Revised 14.12.2023. Accepted 15.12.2024. Available online 29.03.2024

* - corresponding author

Introduction

The aim of the study is to obtain a model of the three-dimensional stress-strain state of the railway roadbed.

The objectives of the study includes:

- simulating the sealing plate operation;
- selecting the rheological model;
- substantiating the criterion of the ultimate stress state;
- selecting the numerical modeling method.

Increasing the speed of trains is one of the most important tasks for improving the operational work and development of railway transport in all industrial countries of the world. Increasing permissible speeds means reducing the travel time, improving the quality of services and attracting additional passenger traffic to rail transport. Speeds can be increased in several ways:

- constructing new lines;
- reconstructing existing railways;
- using improved rolling stock.

Experience in the construction and operation of railway transport shows that reconstruction of existing railway lines with mixed traffic of freight and passenger trains makes it possible to increase the speed to 200-250 km/h. To achieve higher speeds, it is advisable to build specialized high-speed highways, which leads to high-quality compaction of the railway bed [1].

In this regard, the modeling of the railway bed is relevant for clarifying the methodology of calculating the relative and absolute settlement of the railway bed ballast layer.

Materials and methods

The purpose of the study is to obtain a methodology of demonstrating and calculating the stress-strain state of the railway bed.

The research hypothesis is to improve the quality of assessment and calculation, and consequently the performance of the railway bed by studying the importance of legality in obtaining a three-dimensional picture of the railway bed settlement.

Practical significance consists in the use of the obtained results in engineering calculations.

Currently, high-performance complexes of track machines are used to perform track work. The work is performed in limited periods of time, the so-called "windows", at a considerable distance from the repair bases [2].

Track machines and mechanisms for compacting the ballast layer, straightening the track and finishing the ballast prism are classified according to the frequency of action, the working function performed, the number of sleepers that are simultaneously packed, etc. [3, p. 414].

Abroad there are produced straightening and tamping machines of cyclic, continuous-cyclic and continuous action designed for straightening and tamping the railway track during the construction of lines, as well as for the current maintenance and repairs of the track.

With the growth of traffic density, speeds and mass of trains, the design of the track was improved, new sets of track machines appeared, as well as a new technology of track work. For

mechanization of straightening-tamping and finishing works, track renewal machines of cyclic action are used: the main type VPR; of continuous-cyclic action (PMA-1, PMA-S, "Duomatic 09-32 CSM", "Dynamic Stophexpress 09-3X", etc.); of continuous action type VPO (VPO-3-3000, VPO-3-3000S) [3, 415 p.].

During the operation the sealing working bodies of tamping and straightening machines render a horizontal and vertical impact on the ballast with forced supply (introduction) of the working bodies (horizontal or vertical vibro-compression of the ballast). When the plates are deepened into the ballast, there takes place compaction due to its vibration compression in the vertical and horizontal directions. Vertical vibro-compression is implemented in the process of inserting the plates into the ballast, and horizontal when the working platforms of the plates interact with the ballast. When the plates are compressed, horizontal vibration compression of the ballast takes place. The sealing of the shoulders of the ballast prism works according to the method of vibro-compression of the ballast (Figure 1) [3, p. 416].

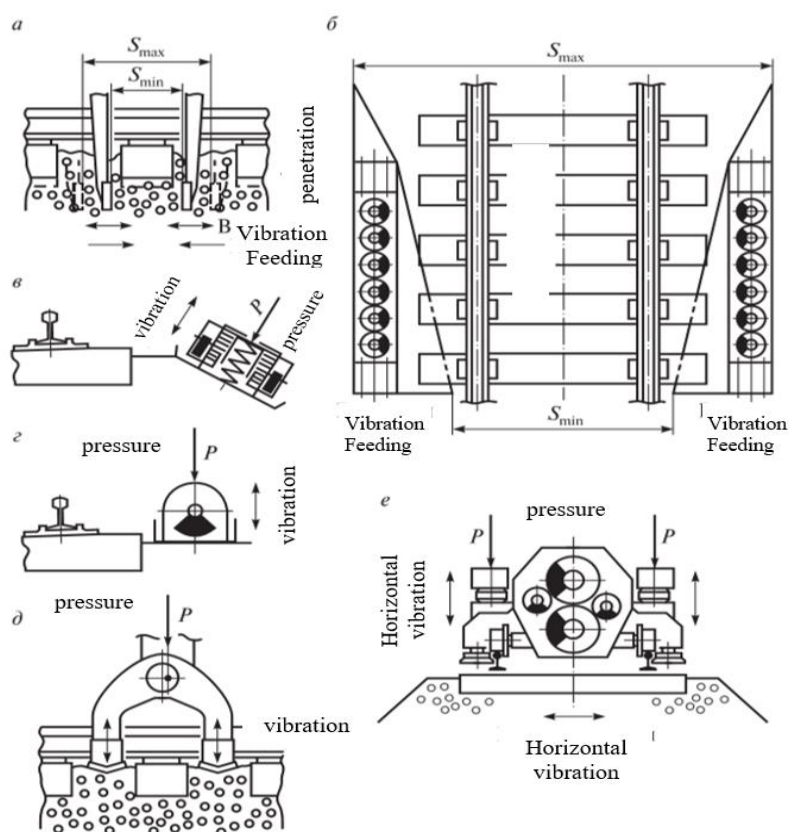


Figure 1 – Working bodies for compacting and stabilizing the ballast layer

The technological process of compacting the mass of the ballast layer is associated with redistribution under the impact of force factors (working bodies or train load) of the ballast volumes inside the layer with the formation of local zones of increased particle concentration due to compaction (under the rail threads) and reduced concentration due to decompression

(in sleeper boxes, under the ends of the sleepers). The ballast, being a loose medium, exhibits its rheological properties. The picture of such distribution is conditioned by the design features of the working body and the selected modes of interaction. With each new force impact on the ballast layer by the working body, as in the case with the operation of machine complexes, the distribution pattern of the material concentration in the layer changes. Relative compaction settlement E_y after force action is determined by the formula [4]:

$$E_y = 1 - \frac{V_y}{V_H} (1 - E_H), \quad (1)$$

where V_H , V_y are the volumes occupied by the ballast before and after compaction.

The most common method of compacting the ballast layer is vibration crimping. The initial state of the ballast is characterized by the relative settlement of the E_y seal. In the calculations of sealing working bodies, the concept of a hypothetical maximum loose state and an extremely compacted state is used. They are characterized by the corresponding relative compaction settlements E_0 and E_H [3].

The indicators for assessing the quality (degree and uniformity) of compaction and stabilization of the track ballast are given in Table 1, where σ is the standard deviation of the degree of compaction quality [4].

Table 1 – Quality indicators (degree and uniformity) of the railway track ballast compaction and stabilization [4]

Indicator	Indicator value or the calculation formula	
Compaction degree:	Practically achieved	Limit
Density, kg/m ³	$\rho_d = (1.5 \dots 1.8) \cdot 10^3$	$(1.9 \dots 2.1) \cdot 10^3$
Porosity	$n_d = 0.36 \dots 0.38$	0.33...0.34
Porosity coefficient	$\varepsilon_d = 0.56 \dots 0.61$	0.49...0.51
Relative settlement of the sealing	$\frac{\Delta H}{H} = 0.14 \dots 0.20$	0.22...0.24
Sealing quality	$\rho \pm \sigma_\rho; n \pm \sigma_n;$ $\varepsilon \pm \sigma_\varepsilon; \Delta H \pm \sigma_{\Delta H}$	max min
The layer settlement speed, mm (mln. t gross)	$\frac{dh}{dT} = V_h = \text{var}$	$V_h = \text{const}$
Acceleration (uniformity) of the layer settlement, mm/(mln. t gross) ²	$\sigma_{vp}(W_h) \leq \pm 1,33 \text{ мм};$ $\sigma_{vp}(W_h) \leq \pm (0,25 \dots 0,33) \%$	$W_h = 0$

Since there is an extremely compacted state of the ballast, stabilization by compaction is modeled by the saturation process of the compaction index taken into consideration: relative settlement E .

The diagram (Figure 2) shows conditionally the positions of the rail-sleeper grid in the process of force impact on the ballast layer by a complex of machines: E_{μ} is the initial relative sediment of the layer, for example, after the operation of a crushed stone cleaning machine for deep cleaning; E_{B1} is the relative settlement of the compaction after the operation of the first straightening and tamping machine (for example, VPO); E_{B2} is the relative settlement of the compaction after the operation of the second straightening and tamping machine (for example, VPR); $E_{ДЗ}$ is the relative settlement of the compaction after passing the dynamic track stabilizer; $E_{\text{э}}$ is the relative compaction settlement as a result of the operation of the ballast layer under the influence of a load from trains [4].

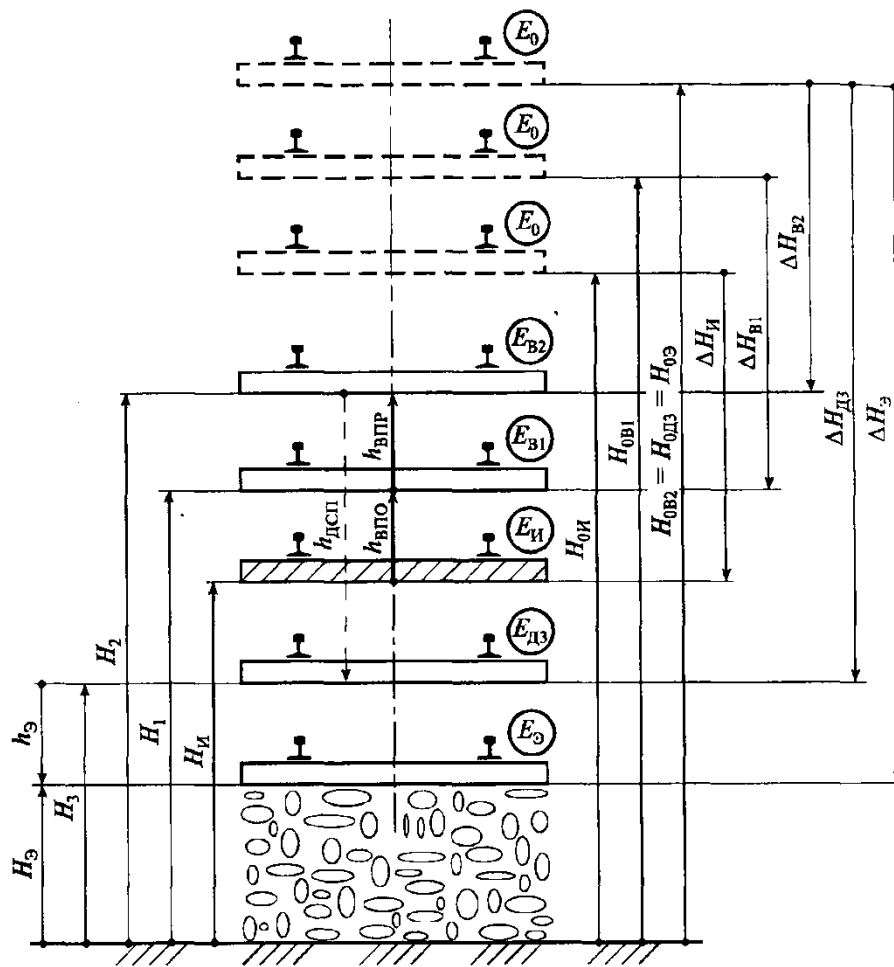


Figure 2 - The diagram of changing the ballast layer state under the compacting action of the track machine complex

After complete stabilization, it corresponds to the extremely compacted ballast layer; H_{μ} , H_{B1} , H_{B2} , $H_{ДЗ}$, $H_{\text{э}}$ are the thicknesses of the ballast layer after the considered impacts (indices correspond to the indices for relative settlement $h_{\text{ВПО}}$, $h_{\text{ВПР}}$ are straightening lifts of the track by the VPO and VPR machines; $h_{\text{ДСП}}$, $h_{\text{э}}$ are settlements of the rail-sleeper grid after and during

operation; E_0 is the relative settlement of the compaction of the ballast layer in the hypothetical extremely loose state [3].

This state corresponds to different hypothetical layer thicknesses, since during the operation of the tamping machine, additional volumes of the ballast material are supplied to the area under the sleepers from the ends of the sleepers (VPO).

After all straightening and tamping works, the hypothetical layer thickness reaches the maximum value H_0 . During settlement in the problem under consideration, it does not change.

The relative and absolute settlements of such a ballast layer can be calculated taking into account the above approach.

The proposed dependences make it possible to determine the loading of machine mechanisms during operation depending on the rheological properties of the medium. However, it is possible and necessary to solve the problem of changing the stress state of the railway bed prism using modern calculation methods (for example, using the finite element method (FEM)).

The main environment of the railway bed is mainly composed of crushed stone. Crushed stone is a loose medium consisting of grains and spaces between them, which are mainly filled with air. A granular body has some properties that distinguish it from classical solids and liquids. It has the ability to keep the shape that it was given by the machine, and on the other hand, it can lose shape, for example, under the impact of a vibration load. Great importance in maintaining the elasticity of the form has the internal structure. A looser and less ordered texture leads to decreasing the ability to bear the load, and a less loose and more ordered texture increases the bearing capacity of the railway bed. In the loose state, the spacer properties of the ballast material are manifested to a greater extent. They are characterized by the appearance of lateral pressure perpendicular to the main pressure. If nothing counteracts the lateral pressure, the ballast bulges to the sides with the destruction of the main body.

The main properties of crushed stone are standardized in SS 7392-2002 "Crushed stone of dense rocks for the ballast layer of the railway track". Crushed stone is obtained by crushing material of igneous rocks with the density of at least 2.4 g/cm³; it consists of particles of fractions within 25...60 mm [5].

The condition of the railway bed is characterized by the quality of compaction. Assessing the settlement of the ballast layer under a force impact on it, in many calculation models there is taken into account the ballast layer located directly under the bases of the sleepers [3].

Our task is to simulate the operation of a vibrating plate.

It is known that the soil is a non-linearly deformable material, in which the relationship between load and displacement has a curvilinear character. The stress-strain state of such materials is described in more complex elastic-plastic models, which are based on the concept of yield stress. To simulate the interaction of the plate with the railway bed, the well-known Mohr-Coulomb criterion has been selected, which more accurately describes the ultimate stress state of a loose and cohesive medium. In the space of principal stresses, the yield strength forms the yield surface (Figure 3). The yield surface equation is taken depending on the strength criterion, according to which the calculation is made.

There are many numerical methods of the continuum mechanics among which the most popular is the finite element method (FEM). The FEM has the ability to take into account a

variety of complex properties of soils. By this, the FEM stimulates the development of soil testing methods and new theories of their strength and deformability [6].

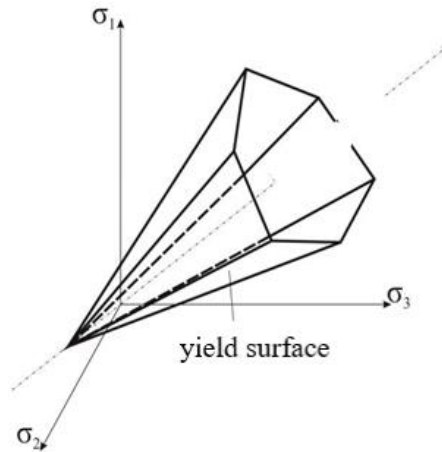


Figure 3 – Yield surface in the axes of the basic stresses of the Mohr-Coulomb criterion

Let's consider the procedure for solving the FEM problem in the Ansys WB program using a specific example: a railway bed under the impact of a vibrating plate.

There has been selected an elastic-plastic Mohr-Coulomb model with known mechanical characteristics of the pin (strain modulus, Poisson's ratio, angle of internal friction, specific cohesion and dilatation angle) (Figure 4).

Properties of Outline Row 5: gravi 2				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	1700	kg m ⁻³	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulu...		
6	Young's Modulus	400	MPa	
7	Poisson's Ratio	0.27		
8	Bulk Modulus	2.8986E+08	Pa	
9	Shear Modulus	1.5748E+08	Pa	
10	Mohr-Coulomb			
11	Yield Surface			
12	Initial Inner Friction Angle	63	degree	
13	Initial Cohesion	20000	Pa	
14	Dilatancy Angle	5	degree	
15	Residual Inner Friction Angle	2.5	degree	
16	Residual Cohesion	10000	Pa	

Figure 4 – Crushed stone mechanical characteristics

The design scheme of the railway bed is shown in Figure 5. A steel plate with dimensions corresponding to the contact area has been selected as a vibration plate.

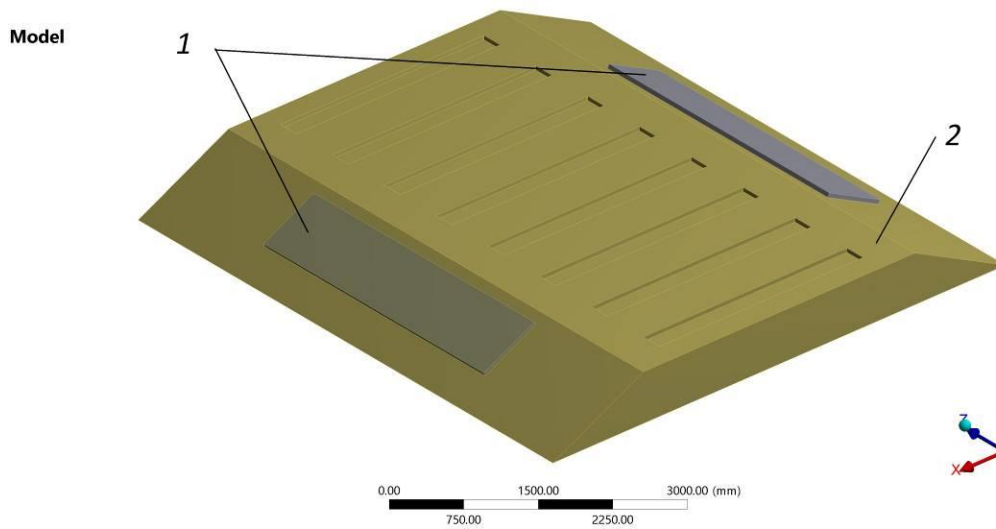


Figure 5 – The design scheme of the railway bed: 1 – vibration plates, 2 – crushed stone

A: Static Structural
Standard Earth Gravity
Time: 1. s

- F** Standard Earth Gravity: 9806.6 mm/s²
- A** Force: 2.e+005 N
- B** Force 2: 2.e+005 N
- C** Displacement
- D** Force 3: 61280 N
- E** Displacement 2

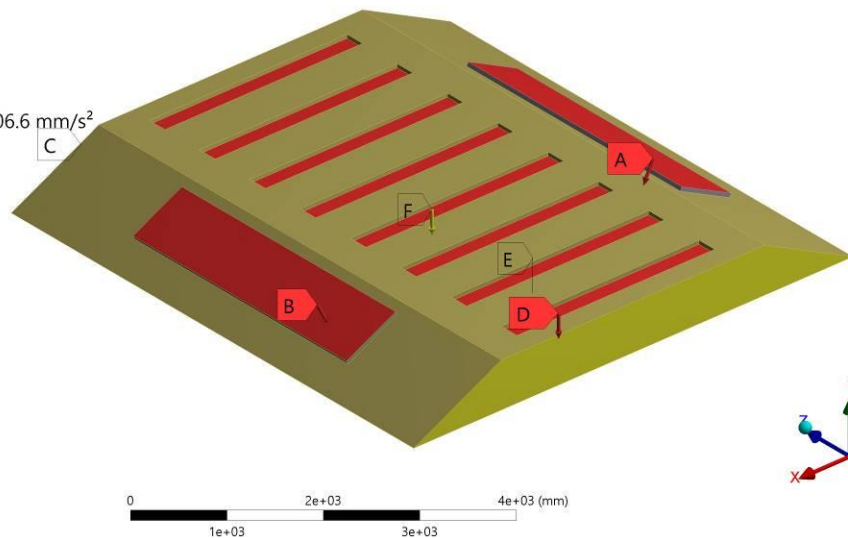


Figure 6 – The railway bed boundary conditions:

A, B – force transmitted by vibrating plates, C – limitation of movement at the ends, D – total load from reinforced concrete sleepers, rails and pairs of wheels, E – limitation of movement at the base, F – gravitational force

The load from the vibration plates is assumed to be static. The dynamic impact has been taken into account by introducing the dynamic coefficients ($k_d=1,2$).

To study displacement along the length of the sleeper base, there has been selected the studied 1-2 line (Figure 7).

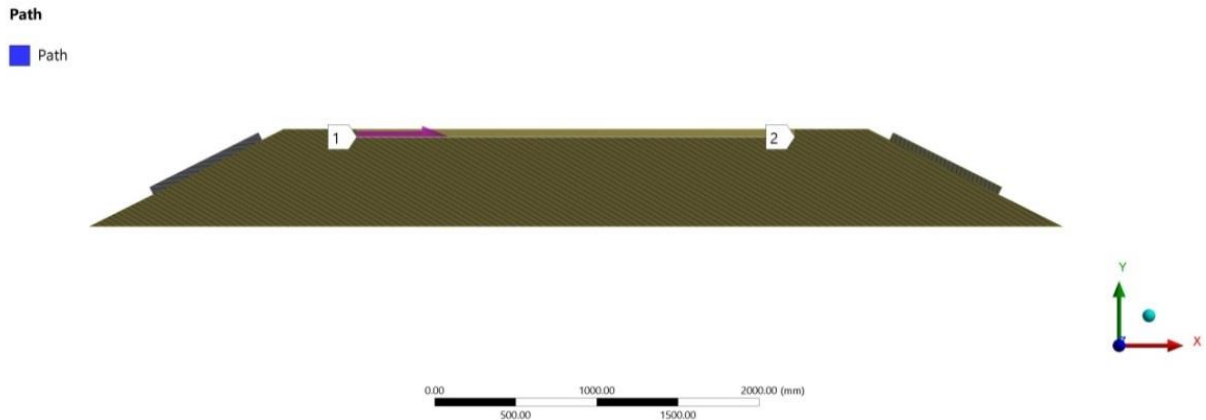


Figure 7 – The 1-2 line

The non-linear calculation of the interaction of the railway bed with the vibration plate has shown good convergence (Figure 8).



Figure 8 – Force convergence

Findings/Discussion

As a result of numerical calculations, the data have been obtained that make it possible to evaluate the performance criteria. The maximum and minimum values of stresses in the zones of impact on the railway bed, the areas of occurrence of plastic strains in soil foundations, as well as the displacement of the “undersleeper zone”, which allow predicting deformation processes under vibration load, are shown.

Below there are the results of vertical movement along the length of the sleeper base (Figure 9).

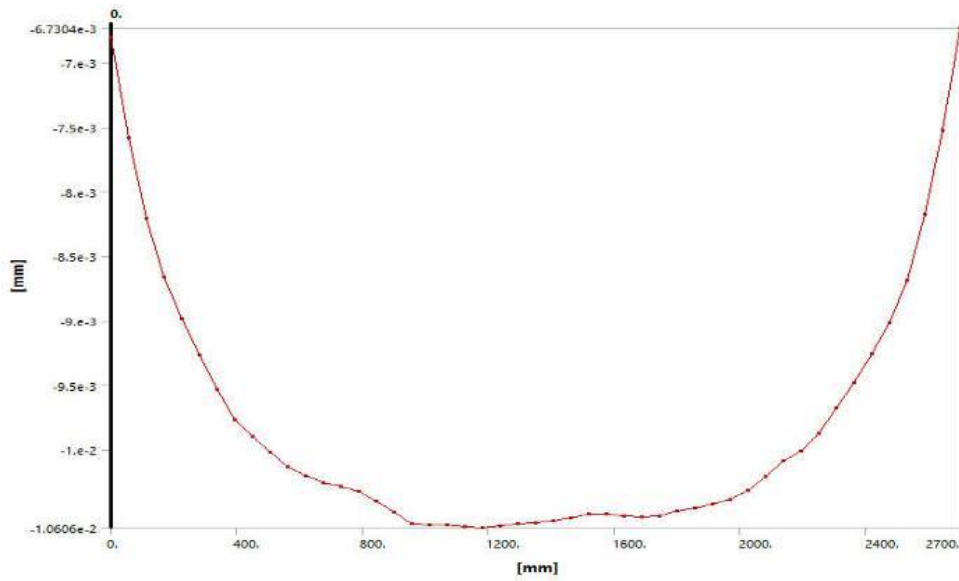


Figure 9 – Displacements along the 1-2 line

It should be noted that the largest displacements occur on the two edges of the sleeper base. Figures 10, 11, 12 show more obvious pictures of strains in various directions.

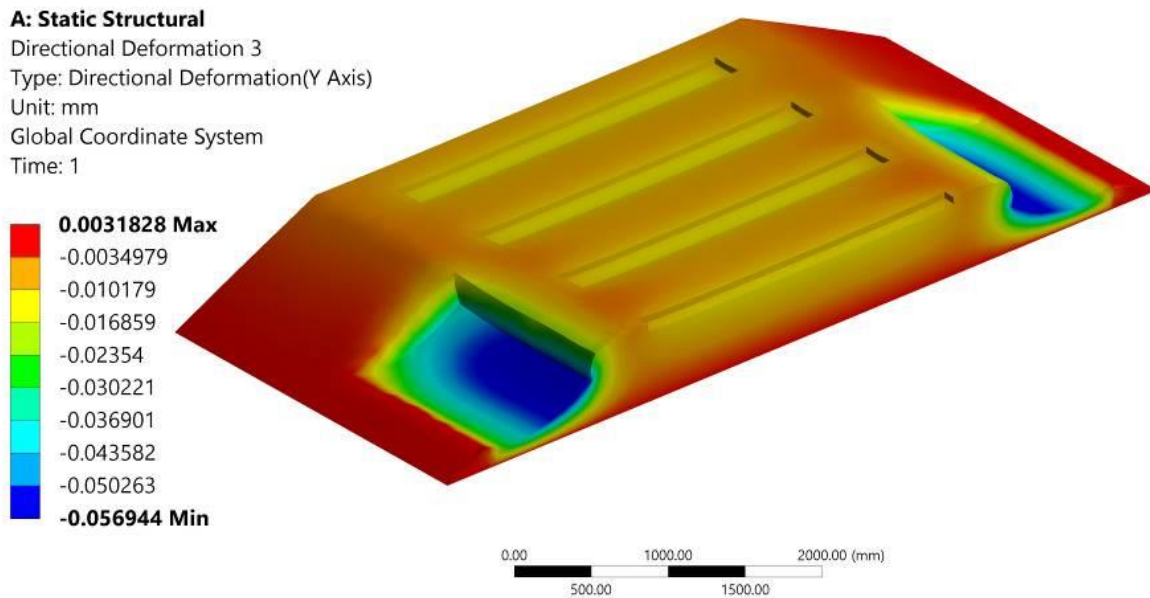


Figure 10 – The picture of strains in the vertical direction

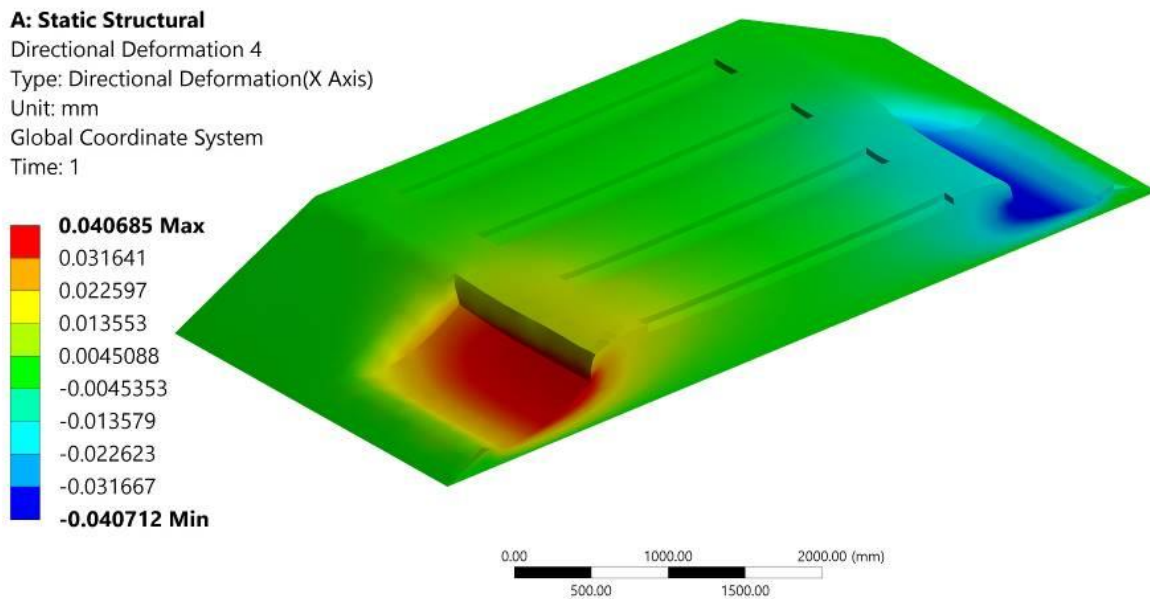


Figure 11 – The picture of strains in the transverse direction

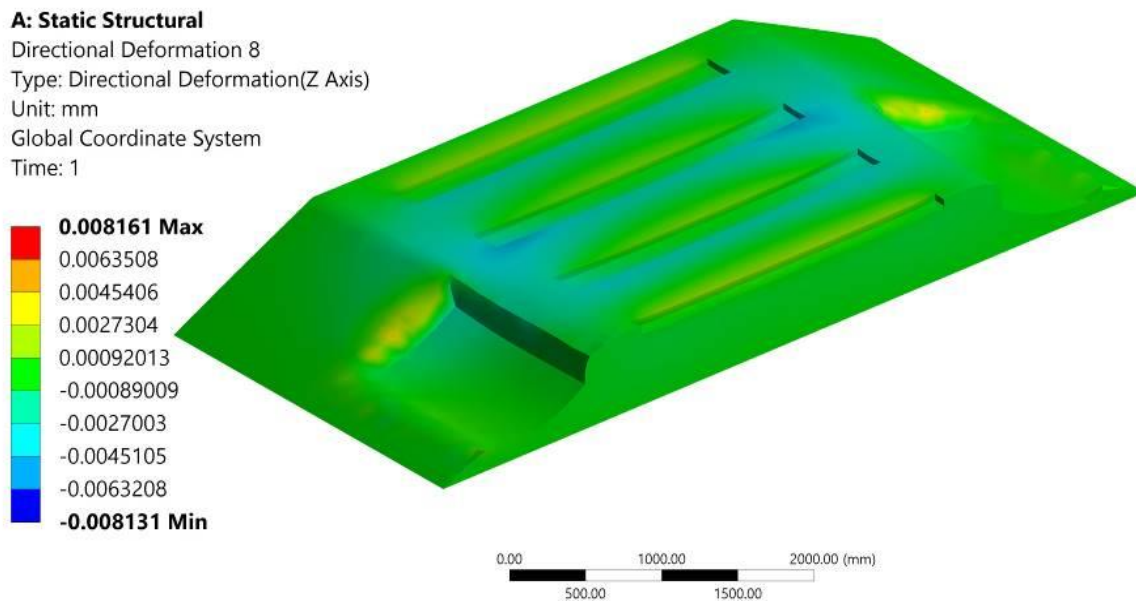
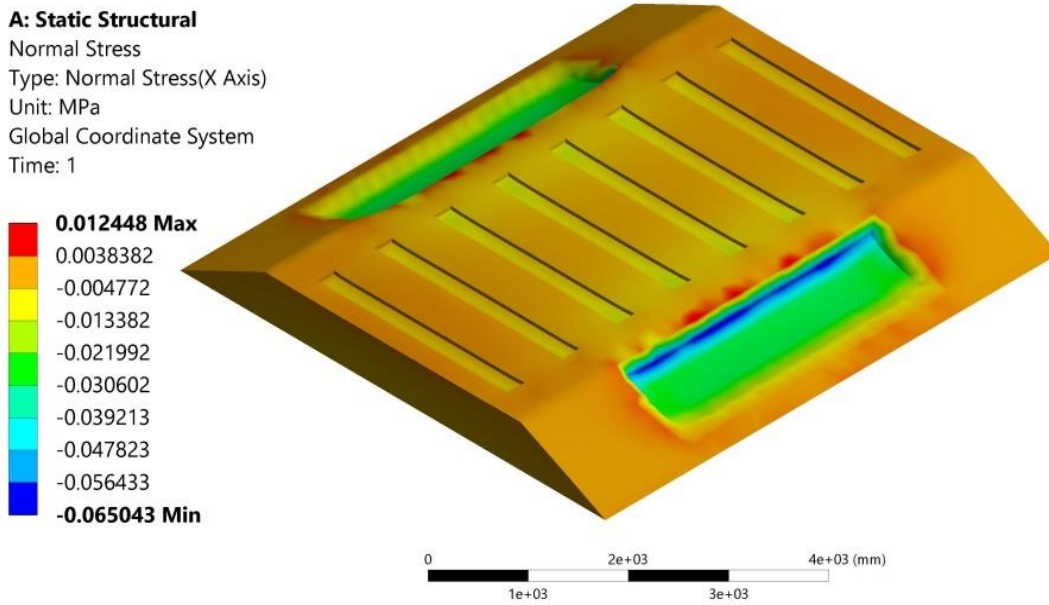
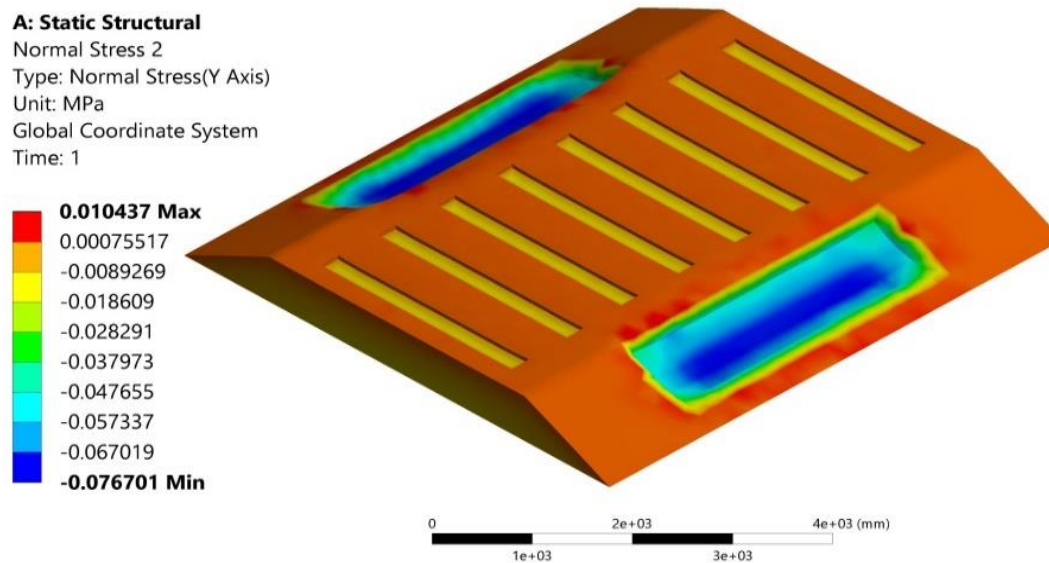


Figure 12 – The picture of strains in the longitudinal direction

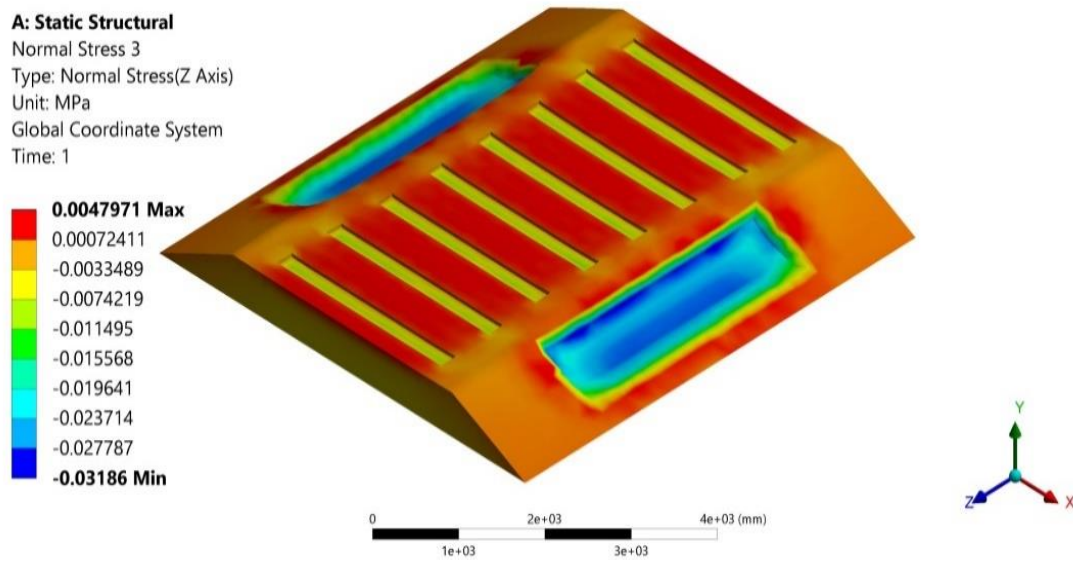
Figure 13 shows the isofields of normal stresses σ



a)



b)



c)

Figure 13 – Normal stresses isofields: a) σ_x ; b) σ_y ; c) σ_z

In this Figure there is obvious the occurrence of a high stress gradient under the loaded "slab – railway bed" system.

At the same time, plastic strains can be observed (Figure 14).

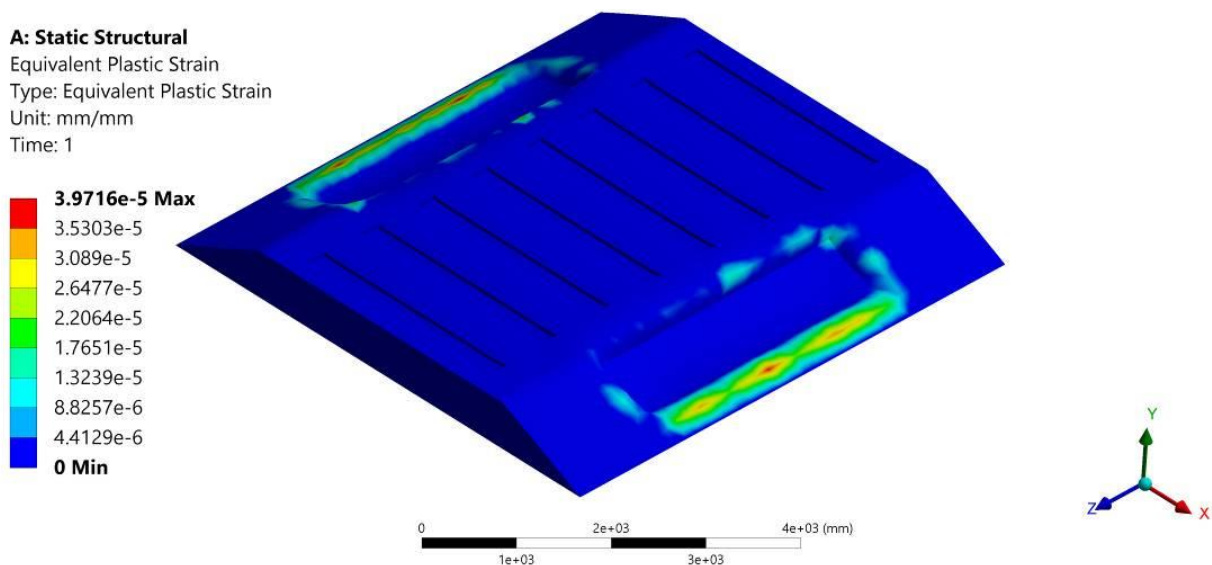


Figure 14 – Elastic strains of the earth work

Conclusion

Methods of calculating the railway bed have been analyzed.

The necessity of obtaining a picture of three stress-strain states of the railway bed by more accurate methods has been substantiated.

In order to improve the accuracy of modeling the stress-strain state of the railway bed, an elastic-plastic model should be used according to the Mohr-Coulomb strength criterion.

The precipitation along the length of the sole of the sleepers is uneven and has maximum values along the edges.

The obtained numerical results in the process of three-dimensional modeling using the FEM allow demonstrating volumetrically the stress-strain state of the railway bed.

Author contribution:

Karsakova Akbope – consent to be responsible for all aspects of the work, proper study and resolution of issues related to the reliability of data or the integrity of all parts of the article.

Kadyrov Adil – approval of the final version of the article for publication;

Pak Igor – a significant contribution to the concept or design of the work; collection, analysis or interpretation of the results of the work;

Kyzylbayeva Elvira – writing the text and/or critical revision of its content.

References

1. A.A. Yerofeyev (2018). Problems of increasing the speed of trains on existing railway lines. Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transport. No. 2 (37).
2. S.A. Bykadorov (2005). Problems of increasing the speed of movement in railway transport. Region: Economics and Sociology. No. 1. P. 150–163.
3. M.V. Popovich, V.M. Bugaenko, B.G. Volkovnov, et al. (2009). Track machines: Textbook/Ed. M.V. Popovich, V.M. Bugaenko. M.: SOU "Educational and methodological center for education in railway transport". 820 p.
4. M.V. Popovich, V.M. Bugaenko, V.B. Bredyuk, et al. (2007). Track machines for alignment of the railway track, compaction and stabilization of the ballast layer. Technological systems: Textbook/ Ed. M.V. Popovich, V.M. Bugaenko. M.: SOU "UMTS ZHDT". 267 p.
5. A.P. Lemansky (2003). New standard for crushed stone. Way and track facilities. No. 5. P. 7.
6. A.I. Stein (1984). A.I. On the interaction of a vibroimpact sealing tool with a loose body. Proc. of CNIIS "Research on automation and mechanization in the design and construction of railways", CNIIS. P. 57-61.
7. K. Sherov, A. Yessirkepova, N. Abisheva, M. Mussayev, A. Mazdubay, B. Mardonov, N. Karsakova (????). Testing of welded reinforcing bars for elongation and process simulation. Periodica Polytechnica Civil Engineering
8. K. Sherov, I. Kuanov (2022). Studying and Improving the Hardness of the Clad Surface by Thermal Friction Milling Methods. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. Vol. 11, No. 10, October.
9. Mortazavian E, Wang Z, Teng H (2019) Thermal-kinetic-mechanical modeling of laser powder deposition process for rail repair. Volume 2: Advanced Manufacturing, ASME
10. Girsch G, Jorg A, Schoech W (2010) Managing rail life to match performance and cut costs. Railw Gaz Int 166(8):45–48

Карсакова А.Ж.¹, Кадыров А.С.¹, Пак И.А.¹, Кызылбаева Э.Ж.¹

¹*Қарағандын текникеский университет имени Абылкаса Сағинова,
Қарағанда, Қазақстан*

Моделирование процесса уплотнения железнодорожного полотна

Аннотация. В статье решена задача взаимодействия уплотняющей плиты с дорожным полотном. Получены численные результаты в процессе трехмерного моделирования с использованием метода конечных элементов, которые позволяют объемно демонстрировать напряженно-деформированное состояние дорожного полотна и использовать их в методике расчета.

Ключевые слова: уплотнение, дорожное полотно, сыпучая среда, вязкая среда, метод конечных элементов.

Карсакова А.Ж.¹, Кадыров А.С.¹, Пак И.А.¹, Кызылбаева Э.Ж.¹

¹*Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қарағанды, Қазақстан*

Теміржол қабатын тығыздау процесін модельдеу

Аңдатпа. Мақалада тығыздағыш тақтаның жол төсемімен өзара әрекеттесу мәселесі қарастырылды. Жол төсемінің кернеулі-деформацияланған күйін толық көрсетуге және оларды есептеу әдістемесінде пайдалануға мүмкіндік беретін соңғы элементтер әдісін қолдана отырып, үш өлшемді модельдеу процесінде сандық нәтижелер алынды.

Түйін сөздер: тығыздау, жол төсемі, борпылдақ орта, тұтқыр орта, соңғы элементтер әдісі.

Авторлар туралы мәліметтер:

Карсакова Акбопе Жолаевна – PhD, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті көлік техникасы және логистика жүйелері кафедрасының аға оқытушысы, Назарбаев көшесі, 56, Қарағанды, Қазақстан.

Кадыров Адиль Суратович – техника ғылымдарының докторы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті көлік техникасы және логистика жүйелері кафедрасының профессоры, Назарбаев көшесі, 56, Қарағанды, Қазақстан.

Пак Игорь Анатольевич – хат-хабар авторы, PhD, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті көлік техникасы және логистика жүйелері кафедрасының аға оқытушысы, Назарбаев көшесі, 56, Қарағанды, Қазақстан.

Кызылбаева Эльвира Жанбековна – PhD, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті көлік техникасы және логистика жүйелері кафедрасының аға оқытушысы, Назарбаев көшесі, 56, Қарағанды, Қазақстан.

Сведения об авторах:

Карсакова Акбоне Жолаевна – PhD, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, улица Назарбаева, 56, город Караганда, Казахстан.

Кадыров Адиль Суратович – доктор технических наук, профессор Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, улица Назарбаева, 56, город Караганда, Казахстан.

Пак Игорь Анатольевич – PhD, автор для корреспонденции, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, улица Назарбаева, 56, город Караганда, Казахстан.

Кызылбаева Эльвира Жанабековна – PhD, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, улица Назарбаева 56, город Караганда, Казахстан.

Information about the authors:

Karsakova Akbone – PhD, Senior Lecturer of the Department of Transport Engineering and Logistics Systems, 56 Nazarbayev Street, Karaganda city, Kazakhstan

Kadyrov Adil Suratovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Engineering and Logistics Systems, 56 Nazarbayev Street, Karaganda city, Kazakhstan.

Pak Igor – PhD, correspondence writer, Senior Lecturer at the Department of Transport Engineering and Logistics Systems Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nazarbayev Street, Karaganda city, Kazakhstan

Kyzylbayeva Elvira – PhD, Senior Lecturer of the Department of Transport Engineering and Logistics Systems, 56 Nazarbayev Street, Karaganda city, Kazakhstan



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



Study on damage mechanism of mudstone radiated by high energy laser

Gongshun Lin¹, Peng Huang¹, Xiaowei Feng*

¹School of Mines, China University of Mining and Technology, Xuzhou, 221116, China

(*E-mail: fengxiaowei@cumt.edu.cn)

Abstract. As mining resources enter the deep stage, the rock strength is high, the use of traditional mechanical rock breaking technology, easy to cause serious wear of the drill bit, drill replacement costs increase, low rock breaking efficiency problems. Laser rock breaking technology uses the way of non-direct contact with rock mass to cause rock breaking, which greatly improves the speed of deep mining. In this paper, high energy laser experiments are carried out on mudstone. Scanning electron microscopy (SEM) is used to study the mudstone minerals before and after laser radiation, and the Brazilian splitting experiment is carried out on mudstone samples after laser test and the final experimental data and analysis results show that the mudstone mineral particles change from rough surface to smooth surface before and after laser radiation. The tensile strength of saturated mudstone samples is significantly improved after laser radiation.

Keywords: Laser rock breaking technology, Brazilian split, SEM, Mechanism analysis, Mudstone

Received 16.08.2023. Revised 16.11.2023. Accepted 05.02.2024 Available online 29.03.2024.

* the corresponding author

1. Introduction

As mining resources at home and abroad have entered the stage of deep mining, the hard rock strength of deep rock mass has been significantly improved compared with shallow rock mass. If the traditional mechanical rock breaking technology is continuously used, it is easy to cause serious wear of drill bit, increase the cost of drill bit replacement, and low rock breaking efficiency [1]. In recent years, with the continuous development of science and technology, there have been many new technologies in rock breaking, such as hydraulic rock breaking [2], blasting rock breaking [3], microwave rock breaking [4], laser rock breaking [5], etc. The emergence of these new technologies has greatly accelerated the speed of rock breaking, and most of these new technologies are caused by non-direct contact with rock breaking behavior, perfectly making up for the disadvantages of traditional rock breaking technology.

Based on the new rock breaking technology, this paper mainly focuses on laser rock breaking technology. The principle of laser rock breaking technology is mainly that after the rock is radiated by high-energy laser, the rock in the radiated area will rise sharply to more than 2000°C and undergo physical changes such as thermal crushing, melting and vaporization under the action of high temperature, forming a state of multi-phase coexistence, and significantly reducing the strength of the rock by promoting the generation of cracks [6]. In this paper, high-energy laser is used to radiate mudstone, and mudstone states are divided into dry and saturated states. First, the sintering state and fracture distribution of mudstone samples under two states of laser radiation are observed by naked eye to briefly analyze and compare the damage effects of high-energy laser radiation on dry and saturated mudstone rocks. Secondly, by means of scanning electron microscopy (SEM), Brazil splitting test and high-definition camera recording, the changes of mudstone, rock sample internal structure and splitting characteristics of high-energy laser radiation are accurately recorded and analyzed.

2. Laser Experiment

The size of the mudstone sample used in this paper was selected as a cylinder with a diameter of 50mm and a height of 25mm, which complied with the recommended standards of the International Society of Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM). In order to meet the requirements of the mudstone sample radiated by high-energy laser, the Brazilian splitting test was conducted to test its tensile strength. Dry mudstone samples need to be kept indoors for 7 days to dry naturally, and saturated mudstone samples are treated by soaking in pure water in a sealed container for 7 days. The laser radiation power of the test is selected as 3KW, and the radiation path is designed as a circle that starts from the center of the circle on the surface of the mudstone specimen and travels 20mm in a straight line before rotating counterclockwise.

Before the formal laser radiation, the mudstone sample is horizontally fixed on the operating platform and the high-definition camera is arranged near the laser machine tool to record various changes in the process of high-energy laser radiation of mudstone. After the arrangement is completed, the laser radiation is carried out according to the radiation path designed in the scheme. When the high-energy laser begins to radiate the surface of the mudstone specimen, sparks will occur in a very short time, and the number of sparks will increase for a period of time in the process of high-energy laser radiation. When radiating mudstone samples, with the increase of laser radiation time, high-temperature molten steam will be generated inside the samples and under the washing action of high-pressure auxiliary air flow accompanied by

laser equipment, the molten material produced by sintering inside the samples will be rushed out of the holes of the samples. In addition, a large amount of smoke will be generated during the radiation process. Saturated mudstone will make the melting reaction of the rocks more intense. The resulting granular melt shoots out in all directions.

Figure 1 is an image of mudstone radiated by high-energy laser. It can be seen that there are obvious circular laser radiation paths, and a large number of black-gray crystal materials are generated around the paths. The black-gray crystal is translucent and dense glassy, and after testing, the crystal has extremely high strength and most of the crystal components are silica. White traces can be seen on the radiation path, which indicates that the mudstone components in this area have been completely burned.

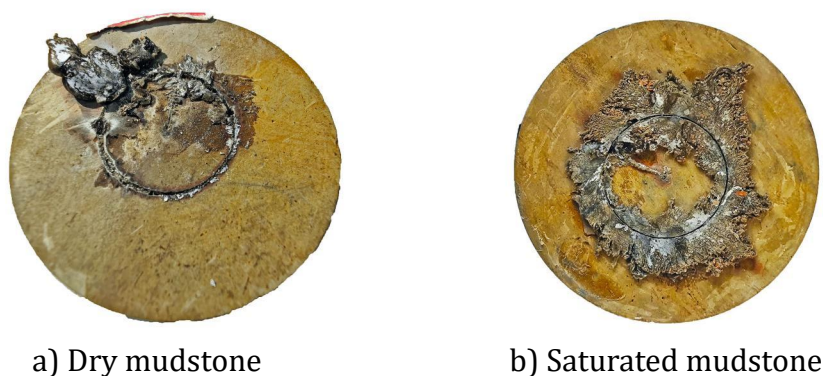


Figure 1 Morphology of mudstone radiated by laser

3. The Brazilian split experiment

In order to compare the strength of the rock samples with that of dry and saturated mudstone without laser radiation, the splitting experiment is convenient to observe the perforation in the rock samples after laser radiation. Dry mudstone, saturated mudstone and intact mudstone were successively subjected to the Brazilian splitting test. The loading test was carried out by the MTS universal testing machine. The mechanical curves of the splitting test were shown in Figure 2, 3, 4 and 5.

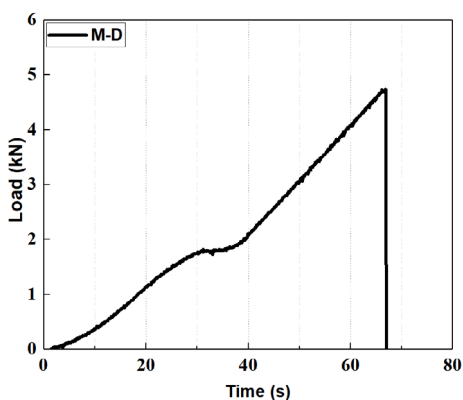


Figure 2 Tensile strength results of dry mudstone in Brazil after radiation

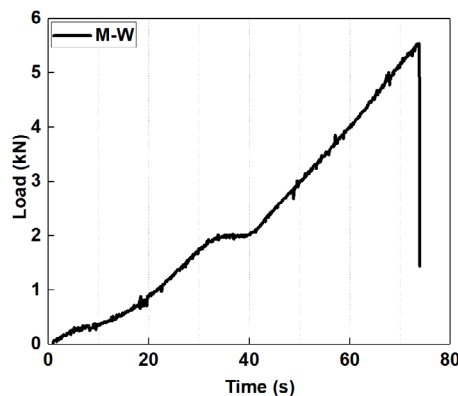


Figure 3 Tensile strength results of saturated mudstone in Brazil after radiation

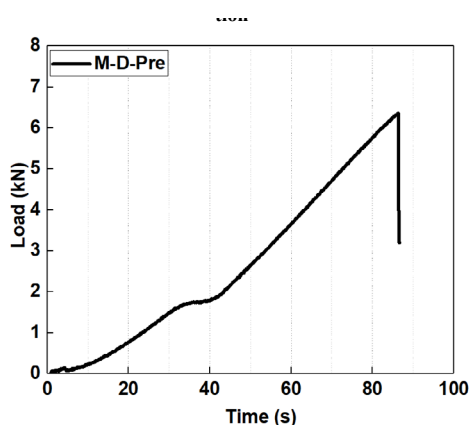


Figure 4 Complete dry mudstone Brazilian tensile strength results

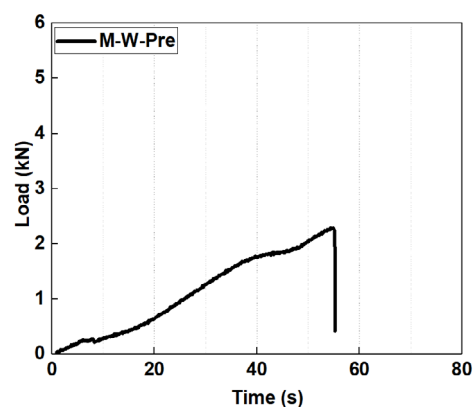


Figure 5 Complete saturated mudstone Brazilian tensile strength results

According to the mechanical data curve of the Brazilian splitting experiment of mudstone in two states after laser radiation, figure 2 and figure 3, indicate that the peak load of the dry mudstone specimen is lower than that of the saturated mudstone specimen, and the tensile strength of the saturated mudstone specimen after laser radiation is higher than that of the dry mudstone specimen. As can be seen in figure 4 and figure 5, the Brazilian tensile strength of intact mudstone specimen shows that the tensile strength of intact dry mudstone is significantly higher than that of saturated mudstone. It is worth noting that the tensile strength of radiated dry mudstone is lower than that of intact mudstone. The tensile strength of the specimen after high energy laser irradiation was significantly improved. After the end of the splitting experiment, the internal perforation of the specimen was analyzed. Figure 6 shows the morphology of mudstone after splitting.



Figure 6 Fracture morphology of mudstone specimen

Figure 6 shows the characteristics of mudstone perforation. It can be seen from the figure that the perforation caused by laser is mainly reflected in the penetrating perforation at the axial position. At the same time, because the laser stays on the circular path for a short time, the perforation marks are shallow. The size of laser perforation gradually decreases from the surface of the rock sample, and the breakdown position is trumpet shaped after breakdown. According to

the abnormal sound heard at the scene and the shape of the perforation, it is speculated that this phenomenon occurred because the rock collapse occurred in the final stage of the perforation under the action of high pressure gas and strong thermal stress. According to the details of the image, it can be seen that the radiation inside the hole presents a round-walled layered porous structure. According to the high temperature conditions and the composition of mudstone, it is inferred that this structure is formed by the gradual cooling of the radiation product under the action of pressure, and the silicon in the radiation product is not the main element component, the main components are calcium silicate and aluminate.

4. Microanalysis

The original mudstone before the laser radiation experiment and the mudstone after the laser radiation were analyzed by scanning electron microscopy (SEM). Figure 7 shows the SEM images before and after the laser radiation.

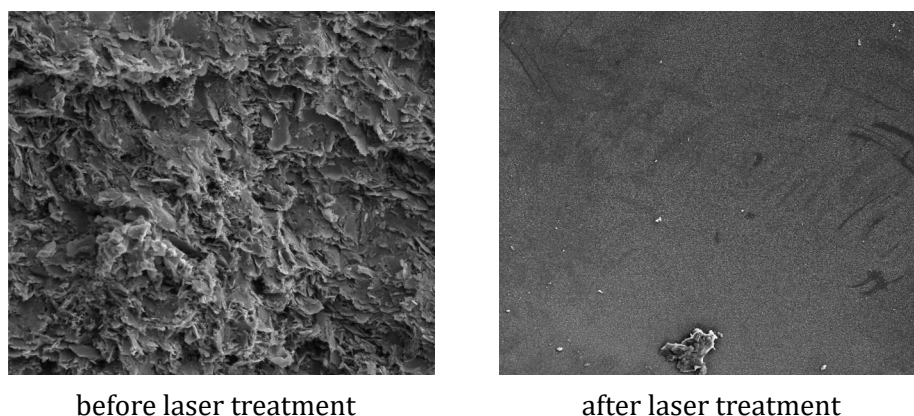


Figure 7 SEM images before and after laser radiation

In Figure 7, the surface of the SEM image before laser radiation is uneven, and the mineral particles are sliced and arranged in an irregular manner similar to ocean waves, numerous porous structures can be seen. After radiation, the SEM image is black and translucent, and the surface is dense and smooth without any holes and cracks. The SEM morphology indicates that laser irradiation helps in melting the rock mass where it passes and then exhibits a dense and smooth microscopic structure, it can be inferred that the strength of the rock mass can be elevated to some kind due to such an irradiation process.

5. Conclusion

Through the use of high-energy laser radiation drying and saturated mudstone samples, Brazil splitting test and SEM microscopic analysis, this paper studies the damage mechanism of high-energy laser radiation mudstone and the influence of water content conditions on the laser radiation effect of mudstone samples. According to the experimental phenomena and data analysis, the following conclusions can be drawn:

(1) High-energy laser radiation mudstone will produce very high intensity black gray translucent crystal material in the laser radiation path.

(2) The Brazilian splitting experiment shows that the tensile strength of saturated mudstone after laser radiation is higher than that of dry mudstone, and the tensile strength of saturated mudstone is significantly improved after laser radiation.

(3) The radiation inside the hole after laser radiation presents a round-walled layered porous structure, and it is found under SEM observation that the surface of the mudstone particles in the radiation area is smooth, without any holes and cracks.

References

1. Guo, C., et al., Experimental research on laser thermal rock breaking and optimization of the process parameters. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2022. 160: p. 105251. [in English]

2. Long, R., Sun and Z. Lian, Research on the Hard-Rock Breaking Mechanism of Hydraulic Drilling Impact Tunneling. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015. 2015: p. 1-34. [in English]

3. Zuo, J., et al., Effect of Different Filling Media Between Explosive and Blast-Hole Wall on Rock Blasting. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2023. [in English]

4. Lu, G., et al., Influences of Microwave Irradiation on the Physicochemical Properties and Cerchar Abrasivity Index of Rocks. *Geofluids*, 2023. 2023: p. 1-10. [in English]

5. Liu, J., et al., Laser Irradiation on Limestone and Cracking: An Experimental Approach. *Applied Sciences*, 2023. 13(7): p. 4347. [in English]

6. Li, Q., et al., Research on crack cracking mechanism and damage evaluation method of granite under laser action. *Optics Communications*, 2022. 506: p. 127556. [in English]

Gongshun Lin¹, Peng Huang¹, Xiaowei Feng^{*1}

Горный факультет, Китайский горно-технологический университет, Сюйчжоу, Китай

Исследование механизма повреждения аргиллита излучением высокоэнергетического лазера

Аннотация. По мере того, как добыча полезных ископаемых выходит на глубокую стадию, прочность породы повышается, использование традиционной механической технологии разрушения породы легко приводит к серьезному износу бурового долота, увеличению затрат на замену сверла, проблемам с низкой эффективностью разрушения породы. Технология лазерного разрушения горных пород использует метод непрямого контакта с горным массивом для разрушения породы, что значительно повышает скорость глубокой разработки. В данной статье проводятся эксперименты с использованием высокоэнергетического лазера на аргиллите. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) используется для изучения минералов аргиллита до и после лазерного облучения, а бразильский эксперимент по расщеплению проводится на образцах аргиллита после лазерного испытания, и окончательные экспериментальные данные и результаты анализа показывают, что минеральные частицы аргиллита меняют шероховатую поверхность на гладкую до и после лазерного облучения. Прочность на разрыв насыщенных образцов аргиллита значительно повышается после лазерного облучения.

Ключевые слова: Технология лазерного разрушения горных пород, бразильский раскол, СЭМ, анализ механизма, аргиллит.

Gongshun Lin¹, Peng Huang¹, Xiaowei Feng^{*1}

Тау-кен факультеті, Қытай тау-кен технологиялық университеті, Сючжоу, Қытай

Жоғары энергиялы лазердің сәулеленуімен саздың зақымдану механизмін зерттеу

Андатпа. Тау-кен өндірісі терең сатыға көтерілгендіктен, тау жыныстарының беріктігі артады, тау жыныстарын жоюдың дәстүрлі механикалық технологиясын қолдану Бұрғылау қашауының қатты тозуына, бұрғылауды ауыстыру шығындарының өсуіне және тау жыныстарын жоюдың төмен тиімділігіне әкеледі. Тау жыныстарын лазермен жою технологиясы тау жыныстарын жою үшін тау жыныстарымен жанама байланыс әдісін қолданады, бұл терең игеру жылдамдығын едәуір арттырады. Бұл мақалада жоғары энергиялы балшық лазерін қолдану арқылы эксперименттер жүргізіледі. Сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) лазерлік сәулеленуге дейін және одан кейінгі сазды минералдарды зерттеу үшін қолданылады, ал Бразилиялық ыдырау эксперименті лазерлік сынақтан кейінгі сазды сынамаларда жүргізіледі және соңғы эксперименттік деректер мен талдау нәтижелері сазды минералды бөлшектердің өрескел бетті лазерлік сәулеленуге дейін және одан кейін тегіс бетке ауыстыратынын көрсетеді. Лазерлік сәулеленуден кейін қаныққан аргиллит үлгілерінің созылу күші айтарлықтай артады.

Түйін сөздер: Лазерлік тау жыныстарын жою технологиясы, бразилиялық сплит, СЭМ, механизмді талдау, аргиллит.

Information about author(s):

Gongshun Lin – Master student, School of Mines, China University of Mining and Technology, Xuzhou, China, TS22020146P21@cumt.edu.cn.

Peng Huang – Master student, School of Mines, China University of Mining and Technology, Xuzhou, China, ts22020238p21@cumt.edu.cn.

Xiaowei Feng – Associate professor, School of Mines, China University of Mining and Technology, Xuzhou, China, fengxiaowei@cumt.edu.cn.

Gongshun Lin – магистрант, Горный факультет, Китайский горно-технологический университет, Сюйчжоу, Китай, TS22020146P21@cumt.edu.cn.

Peng Huang – магистрант, Горный факультет, Китайский горно-технологический университет, Сюйчжоу, Китай, TS22020238p21@cumt.edu.cn.

Xiaowei Feng – ассоциированный профессор, Горный факультет, Китайский горно-технологический университет, Сюйчжоу, Китай, fengxiaowei@cumt.edu.cn.

Gongshun Lin – Тау-кен факультеті, Қытай тау-кен технологиялық университетінің магистранты, Сючжоу, Қытай, TS22020146P21@cumt.edu.cn.

Peng Huang – Тау-кен факультеті, Қытай тау-кен технологиялық университетінің магистранты, Сючжоу, Қытай TS22020238p21@cumt.edu.cn.

Xiaowei Feng – Тау-кен факультеті, Қытай тау-кен технологиялық университетінің қауымдастырған профессоры, Сючжоу, Қытай, fengxiaowei@cumt.edu.cn.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 73.49.99

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-57-74>

Обзорная статья

Совершенствование комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ при оперировании твердо-бытовыми отходами

Н.У. Тастемир¹, Н.К. Булатов*², И. Менендес Пидаль³

^{1,2}Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

³Мадридский политехнический университет, Мадрид, Испания

(E-mail: ¹Tastemir.Nu@mail.ru, ²nurzhan_b_80@mail.ru, ³ignacio.menendezpidal@upm.es)

Аннотация. Актуальность данной статьи состоит в том, что в наши дни образование отходов стало глобальной проблемой. В недавнем прошлом рост населения заметно увеличил скорость образования отходов, а его утилизация и управление представляют собой серьезную экологическую проблему во всем мире. Под управлением отходами понимают комплекс мероприятий по сбору, сортировке, транспортировке с применением эффективной комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ. Цель данной статьи состоит в том, чтобы изучить самые современные методы комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ при сборе, сортировке и перевозке твердо-бытовых отходов. Лучшим методом для изучения этой проблемы является метод анализа, он даёт возможность исследовать максимальное количество источников для предоставления лучших результатов. В статье изучаются последние достижения в этой области, такие, как методы автоматизации, географическая информационная система и GPS, дистанционное зондирование, методы системной инженерии, наиболее применяемая в развитых странах пневматическая система транспортировки отходов, а также предлагается модель нового мусоропровода многоэтажных, высотных жилых и общественных зданий. Анализ показал, что приложения GPS в основном использовались для отслеживания мусорных баков и транспортных средств для сбора мусора, чтобы контролировать время и место сбора. Методы GPS и ГИС вместе работают лучше, чем отдельно. А пневматическая система транспортировки отходов имеет ряд существенных недостатков, которые можно исправить, используя новую модель мусоропровода многоэтажных, высотных жилых и общественных зданий.

Ключевые слова: коммунальные отходы, сортировка мусора, транспортировка отходов, твердо-бытовые отходы, местное управление отходами.

1. Введение

С ежегодным ростом численности населения, по оценкам, к 2050 году во всем мире будет проживать 9,9 миллиарда человек [1]. Этот рост населения поставил под угрозу возможность городов качественно управлять городскими твердыми бытовыми отходами. К 2050 году более 50% всего населения мира будет проживать в городских районах [2]. Это растущее население заметно увеличило скорость производства отходов в недавнем прошлом. Например, по данным Всемирного банка, общая сумма образования ТБО почти удвоилась за последнее десятилетие до 1,2 кг в день на душу населения с 0,64 кг. В отчете также прогнозируется дальнейшее увеличение производства твердых отходов на 20% к 2025 году. В настоящее время города мира производят более 1,3 млрд тонн ТБО в год. Прогнозируется, что эта цифра увеличится на 100% в 2030 году из-за быстрой урбанизации и изменения моделей потребления и образа жизни [3].

Проблема является серьезной в развивающихся странах, где проживает более семидесяти процентов всего населения мира из-за быстрого роста населения и урбанизации, отсутствия финансирования и политики, а также плохих и нерегулярных услуг по управлению отходами [4 – 6]. Экспорт мусора из жилых, административных и коммерческих пространств в городах считается необходимой логистической и оперативной задачей. Управление отходами, как правило, считается функцией районного самоуправления и нередко является большим бюджетом мегаполиса. В значительной мере управление стремительным ростом объемов отходов во многом находится в зависимости от технического оснащения системы городского хозяйства, которая занята удалением из городской экосистемы всех образующихся отходов производства и потребления. Техническим оснащением в предоставленном случае считается присутствие в достаточном числе оснащенных пунктов сбора отходов, транспортных средств для их перевозки, мусороперегрузочных и мусоросортировочных станций, полигонов сбережения и захоронения отходов, квалификация сотрудников и т.д.

Для совершенствования комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ, при оперировании твердо-бытовыми отходами рассмотрено применение методов системной инженерии, дистанционного зондирования, ГИС и GPS, пневматической системы транспортировки отходов, а также модель нового мусоропровода многоэтажных, высотных жилых и общественных зданий. Введение в эксплуатацию данных методов и технологий позволит повысить эффективность и оптимизирует погрузочно-разгрузочные работы при сборе, сортировке и перевозке твердо-бытовых отходов.

2. Методология

В основу данной научно-исследовательской, фундаментально изученной работы легло качественное, надежное соединение проверенных теоретических методов (анализ, синтез, конкретизация, обобщение, моделирование), и эмпирических методов (изучение опыта работы мировых организаций и их опыт в данной или похожей сфере с применением схожих материалов).

Теоретическую базу данной научной работы составляют преимущественно тематические исследования, состоящие из научно-практических, научно-исследовательских и обзорных научных статей, включающие в себя экспериментальные методы. Анализы, статистики и прочие виды работ зарубежных исследователей, взятых из официальных источников с достоверной информацией, направленных на изучение большого ряда проблемных вопросов, с которыми можно столкнуться в процессе применения освещенных методов, связанных с управлением твёрдыми бытовыми отходами и их спецификацией.

Представленная работа была выполнена в три основных этапа:

Подготовлена основная теоретическая база, на анализе которой строится основа для дальнейших выводов. На первом этапе научного исследования был выполнен поиск и анализ различных достоверных источников информации. Было рассмотрено большое количество информационных ресурсов, данные из которых были изучены и систематизированы для упрощенного, быстрого и качественного понимания информации. Был произведен системный анализ, который включал в себя подробное изучение возможных методов комплексной автоматизации и механизации погрузочно-разгрузочных работ, при сборе, сортировке и перевозке твёрдо-бытовых отходов.

Выполнено аналитическое сравнение и углубление в материалы изученных работ других ученых, сравнение их между собой. В большей мере в них входили статистика, теоретическая информация и описания опыта применения различных методов и технологий комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ при сборе, сортировке и перевозке твердо-бытовых отходов. Анализировались, проверялись и уточнялись выводы, полученные в ходе исследовательской работы.

Проведена проработка материалов, уточнены теоретические и практические выводы, обобщены, проверены, и систематизированы полученные данные. Результаты, полученные в ходе данного проведенного научного исследования, а также сформулированные на их основании выводы, могут быть использованы в дальнейшем как эффективная научная база для изучения и применения новых и усовершенствованных по многим параметрам методов и технологий механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ при сборе, сортировке и транспортировке твёрдо-бытовых отходов.

3. Результаты и обсуждение

В последнее время для решения экологических проблем широко используются различные модели системной инженерии. Например, модели исследования затрат и выгод использовались для оценки положительных и отрицательных экономических последствий. Отдельная модель анализа затрат и выгод может преобразовать экологические аспекты в финансовые условия. Модели оптимизации использовались для получения наилучшего решения среди нескольких вариантов с учетом набора целей. С. Шмелев и Дж. Пауэлл [7] представили анализ многокритериальной модели оптимизации для достижения цели устойчивого обращения с ТБО (твёрдыми бытовыми отходами) в региональном масштабе. Подход учитывал пространственное и временное

распределение производства и переработки ТБО. Кроме того, он рассмотрел финансовое и экологическое воздействие на биоразнообразие и благополучие. Типичная модель оптимизации состоит в основном из целевой функции и некоторых ограничений, при которых модель работает.

Модели прогнозирования использовались для описания потоков отходов и создания системы контрольных данных для сбора данных о вероятном образовании отходов и других связанных переменных, таких, как численность населения, уровень дохода и размер домохозяйства. А модели разработки сценариев использовались для создания теоретических групп событий, созданных для того, чтобы сосредоточиться на основных прогрессиях и точках суждения. Эти модели могут исследовать события, связанные с обращением с твердыми отходами. Инструменты и модели оценки воздействия на окружающую среду использовались для практики принятия решений, касающихся действий, которые могут повлиять на окружающую среду [8]. Инструменты социально-экономической оценки состоят из компьютерных моделей, которые применяют скоординированную рыночную стратегию для систем управления отходами. Эти модели позволяли учитывать сборы за продукцию, кредиты на переработку и сборы с пользователей при принятии решений в системах ТБО. В типичном моделировании обращения с отходами данные о твердых отходах сначала собираются для создания базы данных, а затем выполняется расширение базы данных, за которым следует ввод данных во входные файлы. Затем модель анализирует входные файлы для получения результатов.

Объем производства ТБО увеличивается с ростом населения и потребления, и это является основным фактором устойчивого роста и стратегического планирования. Однако правильная оценка производства ТБО является сложной задачей из-за несогласованности системы и факторов, зависящих от времени, таких, как социально-экономические и демографические критерии. Это особенно сложно в развивающихся странах, где согласованная информация обычно недоступна, а оценка отходов обычно проводится с помощью исследований объемного веса или материального баланса. Однако эти системы недостаточны для точной оценки образующихся отходов. Таким образом, необходимо использовать нелинейные методы, такие, как искусственный интеллект, для прогнозирования надлежащего образования отходов. Надлежащее управление схемой обращения с отходами необходимо для поддержки как окружающей среды, так и благополучия человека. А. Пирес и др. [9] представили систематический обзор литературы по различным методам системного анализа, таким, как модели и инструменты для организации отходов в европейских странах. Расследование показало, что инструменты и модели системного анализа дадут возможность разработать улучшенные подходы управления бытовыми отходами, ведущие к соответствию последним контрольным показателям Европейского Союза.

В системах устойчивого управления отходами инструменты оценки системы используются для сбора и предложения потоков данных, для распознавания экологических эффектов в схеме устойчивого управления отходами, связанных с перемещением токсинов, для оценки стратегий управления отходами, для оценки вариантов решения проблемы, принимая и оценивая этапы производства отходов

относительно перспектив. Исследователи во всем мире использовали различные методы оптимизации, такие, как смешанное целочисленное программирование и нечеткое параметрическое моделирование, для решения проблем устойчивого управления отходами в условиях сложной неопределенности. Совместное использование информационных и коммуникационных технологий (ИИКТ) и методов оптимизации устойчивого управления отходами (УУО) сведет к минимуму управленческие усилия, время, затраты и выбросы загрязняющих веществ.

Эффективность схемы организации отходов может быть увеличена за счет наилучшего использования информационных и коммуникационных технологий [3]. Существуют различные системы для использования ИИКТ в управлении отходами [10], например, системы, основанные на технологиях хранения данных, в которых датчики расстояния и изображения устанавливаются в мусорных баках, системы, основанные на технологиях классификации, в которых метки со штрих-кодом крепятся на мусорные баки для отслеживания и системы на основе геопространственных технологий, в которых ДЗ (дистанционное зондирование), GPS (система глобального позиционирования) и ГИС (геоинформационная система) используются для отслеживания местоположения мусорных баков. Эти технологии также использовались для выбора места, планирования и оценки отходов, оптимизации маршрута и сбора, отслеживания транспортных средств и оценки воздействия на окружающую среду. Технологии передачи данных обычно используются во всех вышеперечисленных системах для облегчения передачи обработанных данных, прогресс в ИИКТ и сенсорных технологиях сделал мгновенный мониторинг мусорных баков более удобным и осуществимым.

Космические аппараты ДЗ Земли используются для изучения природных ресурсов планеты и решения задач метеорологии. Дистанционное зондирование обычно относится к эффективному использованию достижений бортового обнаружения объектов на земле, издалека, посредством передачи сигнала со спутников. Использование ДЗ в УУО было сделано для размещения полигонов для захоронения отходов, оценки экологического воздействия отходов и мониторинга полигонов. К. Янг и др. [11] разработали схему размещения полигонов путем изучения выбросов от полигонов для захоронения бытовых отходов. Исследователи использовали базу данных ГИС в сочетании с ДЗ для пяти свалок в городских районах городов Сучжоу и Уси в Китае. Ранее М. Олуик и др. [12] использовали спутниковые данные и аэрофотоснимки для изучения подходящих мест захоронения отходов в подземных коридорах. Позже ученые NASA использовали данные, полученные с полевых датчиков и спутников Aqua и Terra, для экологического исследования. Они изучили состояние загрязнения и восстановления для экологической оценки захоронения отходов.

Платформа географических данных выделяется среди наиболее широко используемых устройств для наблюдения за географической информацией, также используется в более узком смысле как инструмент (программного продукта), позволяющий пользователям искать, анализировать и редактировать как цифровую карту местности, так и дополнительную информацию об объектах [13]. ГИС широко используется для решения различных проблем ТБО. Чаще всего она используется для размещения

полигонов и перегрузочных станций. А. Озкан и др. [14] говорили об использовании ГИС для прогнозируемого планирования на основе данных и оптимизации маршрутизации. Исследователи также использовали методологию, связанную с ГИС, для оценки производства ТБО с учетом местных демографических и социально-экономических данных. Н. Карадимас и др. [15] использовали отслеживание автопарка с помощью пространственно-временного анализа в среде ГИС для разработки структуры УУО для расчета общих расходов и жизнеспособных вариантов.

Геопространственные методы постепенно использовались в течение последних нескольких десятилетий в качестве основного инструмента пространственного решения для размещения свалок. Были предложены различные подходы и методы на основе ГИС для оценки подходящих свалок. В некоторых исследованиях использовалась многокритериальная оценка на основе ГИС. В. Зеленович и др. [16] использовали теорию нечетких множеств в среде ГИС. В [8] выполнено пространственное исследование на основе ГИС с оптимизационной моделью для определения местоположения подходящей площадки для размещения пунктов вывоза мусора. Благодаря своей простоте взвешенная линейная комбинация является широко распространенным методом многокритериальной оценки.

Также существуют исследования геопространственного метода с целью оптимизации маршрута сбора отходов, которая может быть проведена с использованием метода на основе ГИС со схемой мониторинга грузовиков, анализ сети ГИС для оптимизации маршрута с целью минимизации расхода топлива общественным транспортом и сокращения выбросов углекислого газа, трехмерное исследование пространственных данных на основе ГИС для минимизации использования топлива за счет сокращения маршрута, использование ГИС для оптимального выбора места расположения мусорных баков и размещения отходов для их максимального использования.

GPS стал более полезным в сочетании с технологиями ГИС. Стало возможно использование приемника GPS, установленного на грузовике, и пространственном исследовании на основе ГИС для сбора пространственной информации для картирования, отслеживания и планирования процесса. Точно так же [17] выполнили анализ данных процесса в сочетании с данными GPS и ГИС для минимизации пути. [18] использовали датчик для определения запаха газа на свалке отходов. Исследование количественно определило запах газа с использованием датчика оксида олова. Кроме того, [19] использовали инфракрасный датчик для обнаружения загрязняющих веществ, содержащихся в отходах керамического стекла. Позже был использован бортовой GPS-приемник для сбора информации об отходах во время движения грузовиков и перегрузочных станций.

Благодаря такому сочетанию стало возможно использование GPS для пространственного анализа и сбора данных о ТБО для разработки политики по увеличению переработки ТБО. А также возможность провести исследование с использованием GPS-приемника для отслеживания грузовиков и мусорных баков, чтобы выявлять нерегулярных клиентов. В этом исследовании GPS вместе с другими коммуникационными технологиями был установлен на грузовиках, и система была подключена к удаленному серверу.

Традиционные системы управления бытовыми отходами основаны на сборе и хранении отходов в мусорных баках до их сбора и транспортировки местным агентством по обращению с отходами. Хотя эти системы действительно гибкие, у них есть важные недостатки и воздействие на окружающую среду, такие, как запахи из-за накопления отходов в мусорных баках, проблемы с гигиеной, шум, заторы на дорогах и выбросы парниковых газов от мусоровозов, используемых для перевозки отходов [20]. Поэтому в последние годы становится популярной установка пневматической системы подземного сбора.

Аппараты пневматической системы транспортировки используются для транспортировки отходов из жилых многоэтажных массивов и различных учреждений. Мусор через загрузочные посты засасывается в систему отводящих труб и движется в воздушном потоке к месту накопления. Типичным для них является то, что для достижения разности давлений используется вакуумный аппарат, в котором разрежение в транспортной трубе аппарата обеспечивается генераторами вакуума, например, вакуумными насосами или эжекторным аппаратом. В транспортной трубе обычно имеется по меньшей мере один клапанный элемент, открытием и закрытием которого регулируется поступающий в трубу подпиточный воздух. Отходы транспортируются по трубопроводу на довольно большое расстояние до пункта сбора отходов, который обычно находится за пределами населенного пункта. Со станции отходов отходы далее транспортируются на свалку, например, мусоровозами.

В 2019 году в рамках программы HDB Greenprint в 38 кварталах поместья Юйхуа были опробованы системы пневматической транспортировки отходов, направленные на создание более чистой, экологичной и устойчивой окружающей среды. Автоматизированная система пневматической транспортировки отходов использовала всасывание воздуха для транспортировки бытовых отходов (со скоростью 50–80 км/час) по замкнутой подземной сети трубопроводов (диаметром 1/2 метра и длиной 4,6 км) на центральную станцию сбора [21]. Весь процесс сбора отходов был автоматизирован без открытой обработки отходов, что позволило еще больше сократить потребность в ручном труде и мытье мусоропровода, свести к минимуму разложение отходов и решить проблемы с неприятным запахом, вредителями и утечками при сборе отходов. С точки зрения устойчивого управления отходами, система может поддерживать разделение отходов для переработки. Но остались проблемы в отношении социальных установок и действий – неправильная утилизация крупногабаритных отходов в систему по-прежнему создавала риск выхода из строя системы, засорения подземных труб и увеличения риска засоров, вызывающих неприятные запахи.

Транспортировка отходов на большие расстояния по трубопроводу на практике нерентабельна. Обычно на всасывании имеется перепад давления менее 1 бар (на практике 0,1-0,4 бар). Небольшая разница давлений требует, чтобы скорости потока в трубопроводе были рассчитаны на высокие скорости, чтобы материал, предназначенный для транспортировки по трубопроводу, перемещался. Поскольку отходы, проходящие по трубе, имеют неравномерную герметичность, размер и форму, в трубопроводе создается байпасный поток, в результате чего вакуумные генераторы/всасывающие устройства, создающие всасывание, должны быть рассчитаны на чрезвычайно большую мощность.

Для сравнительного анализа достоинств и недостатков представленных направлений развития оперированием твердо-бытовыми отходами за последние 10 лет, сведем их в таблицу 1, где отражены слабые стороны данных направлений развития и к каким результатам приведут применяемые технологии.

Таблица 1.
Направления развития оперирования твердо-бытовыми отходами за последние 10 лет

№ п/п	Направления развития оперирования ТБО	Слабые стороны	Конечный результат
1	Н1 – Искусственный интеллект для прогноза образования ТБО	Дороговизна разработок, связанных с ИИ и требующих дальнейших исследований	КР1 – машинное обучение, оперирование большими объемами данными, глубокий анализ и быстрый вывод данных по эффективному распределению ресурсов
2	Н2 – ИКТ для оптимизации УУО	Требуются детально разработанные и учитывающие все нюансы конструкции, позволяющие легко оптимизировать УУО по собранным данным ИКТ	КР2 – интегрирование и распределение всей информации, ПО и распределение по сетям и оборудованию системы обеспечения функционирования жизненного цикла ТБО
3	Н3 – АСУ (различные датчики и сенсоры по расстоянию, позиционированию, устройства считывания штрих-кодов и т.д.)	Требуются конструкции по комплексной механизации и автоматизации всего процесса	КР3 – комплекс аппаратных и программных средств для управления различными процессами функционирования жизненного цикла ТБО
4	Н4 – ИКТ для мониторинга, оптимизации сбора для эффективного применения транспортных средств	В основном во всех пунктах вывоза ТБО идет синхронный временной цикл, что совершенствование ограничивается только построением последовательного маршрута ТС	КР2
5	Н5 – ДЗ в УУО путем мониторинга полигонов ТБО	Учитывая постоянный рост численности населения, данное направление ведет к отсрочке достижения критической точки по заполняемости полигонов и не устраняет в целом проблему системы	КР4 – получение и сбор информации об объектах, без физического контакта, расположенных на больших расстояниях на поверхности Земли. Собранный информация отправляется в пункт(ы) обработки информации по жизненному циклу ТБО

6	Н6 – Определение мест и объемов расположения мусорных баков с помощью ГИС, учитывающие демографию и социально-экономические данные местности жилого массива	Эффективен только на промежутке между пунктами вывоза и до точки доставки ТБО на утилизацию. Не решает проблемы всего жизненного цикла ТБО.	КР5 – система сбора, хранения, анализа и графической визуализации объектов жизненного цикла ТБО на пространственных (географических) данных. Данная система эффективна для оценки фактического состояния изучаемых объектов и придачи им оптимальных дальнейших действий, маршрутов
7	Н7 –Конструкционные наработки герметичности мусорных баков и эффективности погрузочно-разгрузочных работ их в мусоровозы	Решает проблемы, возникающие только на месте вывоза ТБО, также не решает проблемы всего жизненного цикла ТБО.	КР6 – эффективное функционирование систем и оборудования в жизненном цикле ТБО, так как имеют проработанные конструкторские особенности.
8	Н8 – Применение инновационных систем пневмотранспорта для комплексной механизации и автоматизации транспортировки ТБО	Отходы, проходящие по трубе, неравномерны по размеру, форме, сложности создания полной герметичности как упаковок, так и всей системы. В трубопроводной системе создается байпасный поток, в результате вакуумные генераторы рассчитываются на чрезвычайно большие мощности, то есть более энергозатратны.	КР7 – комплексная механизация и автоматизация всего промежутка жизненного цикла ТБО
Примечание: выбраны направления развития оперировании ТБО по исследованиям собранных материалов, по публикациям, представленным в открытом доступе (Open Access) в базе Scopus и на материалах, отраженных в доступных библиотечных и интернет-ресурсах.			

Влияние всех вышепредставленных исследований на развитие управляемости, эффективности при оперировании твердо-бытовыми отходами однозначно приведет к совершенствованию системы оперирования твердо-бытовыми отходами. При этом каждая из направлений развития оперирования твердо-бытовыми отходами имеет свои слабые стороны, которые приведут к сложности выполнения или невыполнимости задания, которые требуют синхронности развития всех других направлений и их целенаправленности к конечным результатам. Для графического отражения информации, отраженной в таблице 1, диаграмма жизненного цикла по оперированию твердо-бытовыми отходами представлена на рисунке 1.

Жизненный цикл оперирования ТБО

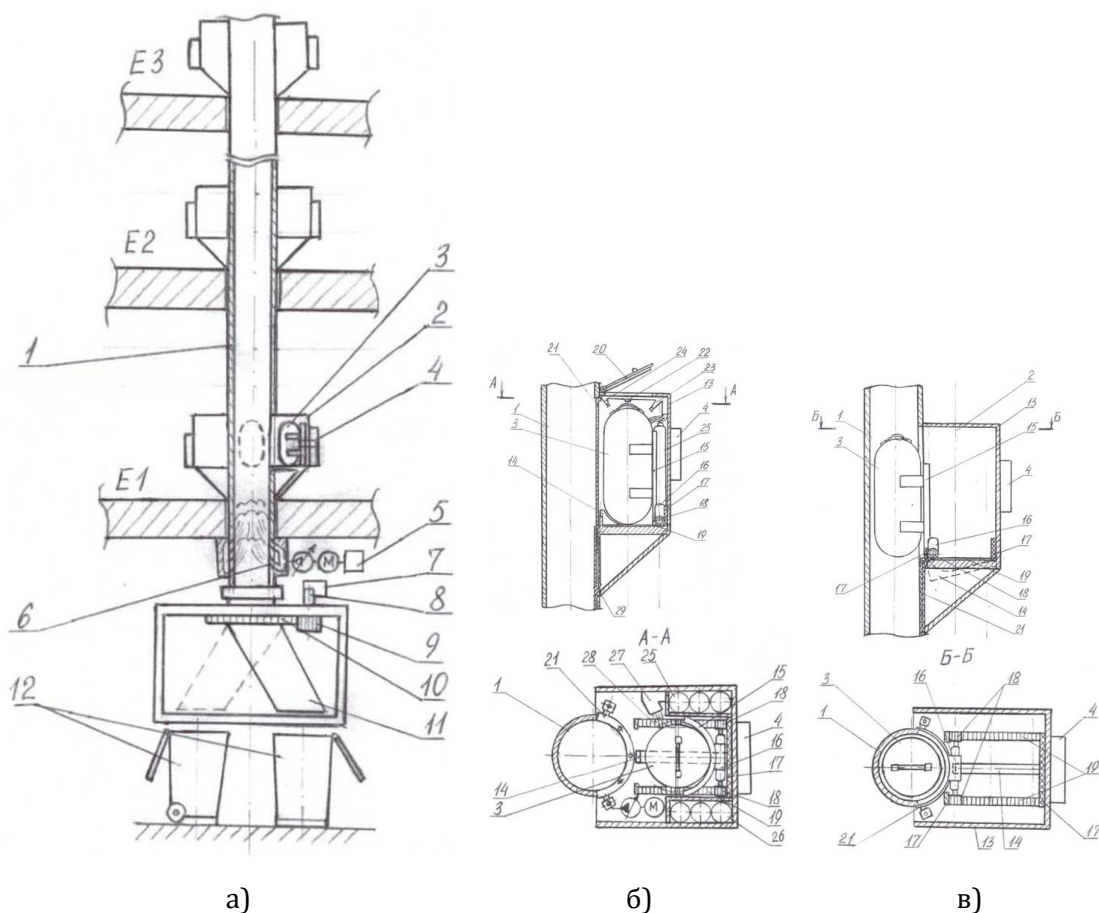


Рисунок 1. Жизненный цикл по оперированию ТБО и их направления развития.
Примечание: составлено авторами

Одним из путей достижения всех представленных конечных результатов является комплексное применение данных направлений и переосмысление всей технологии с предоставлением новых конструкторских и технологических решений по оперированию твердо-бытовыми отходами.

Построение новых конструкторских и технологических решений исходит из недостатков ранее разработанных технологий, систем и конструкций и предоставление новых устройств, устраняющих данные недостатки, но при этом сохранение преимуществ ранних разработок даст значительное развитие технологиям оперирования твердо-бытовыми отходами, так как новые технологии и инновации остаются важнейшим инструментом решения проблемы обращения с отходами. Существует перспектива развития новых методов автоматизации управления коммунальными отходами, возможность совмещения проверенных методов с совершенно новыми конструкциями систем транспортировки, в которых устранены недостатки предыдущих схем.

С учетом того, что транспортировка отходов пневмотранспортирующими трубопроводами является нерентабельной, с большими энергозатратами на создание необходимого давления и силы всасывания, а также трудности правильного подбора форм трассы и сохранения полной герметичности, предлагается конструкция по патенту на изобретение РК №34150 [22], основной вид которого представлен на рисунке 2.



а – основной вид мусоропровода; б – загрузочное устройство в положении с загруженной мусоросборочной упаковкой, наполненной мусором, и в разрезе А-А; в – загрузочное устройство, в положении выталкивания мусоросборочной упаковки в канал ствола мусоропровода.

Рисунок 2. Мусоропровод многоэтажных, высотных жилых и общественных зданий

Примечание: [22]

Сортировка, сбор и транспортировка мусора по данному мусоропроводу проводится только мусоросборочной упаковкой (тарой) в виде капсулы, наполненной мусором, изготавливаемой из материалов, близких по свойствам при переработке с видами отходов, например, биопластик для сбора органических отходов, пластик для сбора пластиковых изделий, картон для сбора бумаги и картона, стеклопластик для сбора стекла и отдельно из материала, в дальнейшем перерабатываемого в строительный материал для сбора пыли, остатков песчаных и глинистых строительных материалов.

Для выявления закономерностей функционирования и расчета конструкционных параметров определено, что для данного мусоропровода, по исследованиям авторов, применимы закономерности расчета таких машин непрерывного транспорта, которые

рассматриваются в гравитационных конвейерах (груз транспортируется с применением силы гравитации), пневматических транспортерах (применяется поток воздуха для гашения скорости падения груза) и является основой диссертационной работы на тему «Исследования по разработке вертикальных пневмотрубчатых конвейеров для транспортировки твердых бытовых отходов».

Задачей изобретения является создание системы эффективного сбора, сортировки и транспортировки ТБО, состоящей из мусоропровода с улучшенными характеристиками и мусоросборочной упаковки в виде капсулы, наполненной мусором, конфигурация которой не позволяет сцепляться, застревать и засоряться, и легко проходит по каналу ствола мусоропровода.

Техническим результатом данной разработки является полуавтоматизированный сбор и полная сортировка по видам твердых бытовых отходов с мусоросборочной упаковкой, соответствующей виду ТБО для дальнейшей эффективной обработки, сортировка и транспортировка мусора до точки вывоза из здания или за пределы здания. Повышение пожаробезопасности и дезинфекция мусоропровода гарантируется путем определения и локализации объектов (мусоросборочных упаковок в виде капсулы с мусором) возгорания или загрязнения в загрузочном устройстве, с помощью системы самодезинфекции и автоматического пожаротушения, тем самым повышая условия техники безопасности. Также присутствует возможность учета и отслеживания выносимых отходов, что, кроме прочего, позволит вести точную систему оплаты. Установка позволяет повысить эффективность переработки отходов с наименьшей сортировкой на производстве и с возможностью вторичного применения тары [22].

Данная система подает большие перспективы развития и усовершенствования современных методов удаления твердых бытовых отходов. Его преимуществом перед пневмотранспортирующими трубопроводами являются наиболее низкие энергозатраты и отсутствие необходимости создания больших давлений в системе, так как при транспортировке груза применяются неэнергозатратные силы гравитации, низковольтные сервоприводы для выталкивания мусоросборочных упаковок в мусоропровод и пневмосистема в конце участка транспортировки для гашения скорости падения груза, позволяющая сохранить груз в целости и сохранности. Расчетные параметры по данной установке будут представлены в дальнейших исследованиях.

4. Выводы

Данное исследование показало, что решения по обращению с отходами должны быть доступными и экономичными. Система удаления отходов из многоэтажных жилых массивов и коммерческих помещений должна быть закрытой, встроенной в здание, насколько это возможно, и способной обеспечить безопасные условия эксплуатации. Кроме того, для тех частей системы, которые не могли быть технологически закрыты, должен был быть ряд социальных и технологических приспособлений.

Анализ литературы показал, что технологии дистанционного зондирования и геоинформационные системы в УУО в основном использовались для размещения полигонов и перегрузочных станций для захоронения отходов, оценки эколог-

ического воздействия закрытых отходов и мониторинга полигонов отходов. Эти геопространственные методы также использовались в рамках моделирования для многокритериальной оценки и оптимизации путей транспортировки отходов. Исследование также показало, что приложения глобальной системы позиционирования в основном использовались для отслеживания мусорных баков и транспортных средств для сбора мусора, чтобы контролировать время и место сбора. Кроме того, анализ показал, что комбинированные приложения GPS и ГИС работают лучше, чем их обычные вариации.

Пневматическая система транспортировки ТБО показала, что, несмотря на свою эффективность и экономию определенных ресурсов, потребляет огромное количество энергии и требует большого обслуживания.

Новые технологии и инновации остаются важнейшим инструментом решения проблемы обращения с отходами. Существует перспектива развития новых методов автоматизации управления коммунальными отходами, возможность совмещения проверенных методов с совершенно новыми конструкциями систем транспортировки, в которых устранены недостатки предыдущих схем, одна из них - конструкция по патенту на изобретение РК №34150, позволяющая осуществить эффективную комплексную механизацию и автоматизацию погрузочно-разгрузочных работ при оперировании с твердо-бытовыми отходами.

Подтверждения

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант ИРН AP14871293, договор 271/30-22-24 от 18.10.2022), а также является промежуточным результатом выполнения диссертационной (PhD) работы Тастемир Н.У.

Вклад авторов

Н.У. Тастемир – внес существенный вклад по сбору данных, материалов и литературы по теме исследования, проводя их анализ и интерпретацию результатов исследования по совершенствованию комплексной механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ, при оперировании твердо-бытовыми отходами.

Н.К. Булатов – участвовал в разработке концепции работы и написании текста статьи с изложением аналитических данных, обеспечивая целостность всех частей статьи.

И. Менендес Пидаль – участвовал в критическом пересмотре содержания статьи и в утверждении окончательного варианта для публикации.

Список литературы

1. Перспективы мирового народонаселения на 2019 год: Пересмотр базы данных о населении. – Организация Объединенных Наций, 2020. <https://population.un.org/wpp/>.

2. Sharma B., Vaish B., Singh U.K., Singh P., Singh R.P. Recycling of organic wastes in agriculture: an environmental perspective // International Journal of Environmental Research. –2019. – Vol. 13, – P. 409–429.
3. Agacsapan B., Cabuk S.N. Determination of suitable waste transfer station areas for sustainable territories: Eskisehir case // Sustainable Cities and Society. –2020. – Vol. 52 (January). – №101829.
4. Heidari R., Yazdanparast R., Jabbarzadeh A. Sustainable design of a municipal solid waste management system considering waste separators: a real-world application // Sustainable Cities and Society. – 2019. – Vol. 47(19). – №101457.
5. Hoke M., Yalcinkaya S. Municipal solid waste transfer station planning through vehicle routing problem-based scenario analysis // Waste Manage Res. – 2021. – Vol. 39(1). – P. 185–196.
6. Zhang T. Temperature and gas pressure monitoring and leachate pumping tests in a newly filled MSW layer of a landfill // International Journal of Environmental Research. – 2019. – Vol. 13. – P. 1–19. – DOI 10.1007/s41742-018-0157-01.
7. Shmelev S., Powell J. Ecological-economic modeling for strategic regional waste management systems // Ecological Economics. – 2006. – Vol. 59(1). – P. 115–130.
8. Ghosh M., Chouhan D., Kamra A., Sharma V. Sustainable utilization of potato industry waste for antifungal biopolymer production by *Lactobacillus helveticus* and its application on pomegranates (*Punica granatum L.*). – 2021. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00120-2>
9. Pires A., Martinho G., Chang N. Solid waste management in European countries: a review of systems analysis techniques // Journal of Environmental Management. – Vol. 92. – Issue 4. – 2011. – P. 1033–1050. – DOI 10.1016/j.jenvman.2010.11.024.
10. Rathore P., Sarmah SP. Modeling transfer station locations considering source separation of solid waste in urban centers: a case study of Bilaspur city, India. // Journal of cleaner production. – Vol. 211. – 2019. – P. 44–60. – DOI 10.1016/j.jclepro.2018.11.100.
11. Yang K., Zhou X., Yan W., Hang D., Steinmann P. Landfills in Jiangsu province, China, and potential threats for public health: leachate appraisal and spatial analysis using geographic information system and remote sensing // Waste Management. – Vol. 28(12). – 2008. – P. 2750–2757.
12. Oluic M., Romandic S., Schaller A. Remote sensing and geophysical survey in site investigations for special waste disposal: Case study Trgovska Gora (Croatia) // Environmental Science, Geology. – 2006. – P. 199 – 206. <http://www.earsel.org/symposia/2005-symposium-Porto/pdf/025.pdf>.
13. Madi N., Srour I. Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS // Resources Conservation and Recycling. – Vol. 141. – 2019. – P. 163–175. – DOI 10.1016/j.resconrec.2018.10.018.
14. Ozkan A., Altan M., Banar M., Ayday C. Optimization of solid waste collection and transportation routes by using GIS. // WSEAS Transactions on Environment and Development. – Vol. 2(10). – 2006. – P. 1322–1327.
15. Karadimas N., Loumos V. GIS-based modelling for the estimation of municipal solid waste generation and collection // Waste Management & Research. – Vol. 26(4). – 2008. – P. 337–346
16. Zelenovic V., Srdjevic Z., Bajcetic R., Vojinovic M. GIS and the analytic hierarchy process for regional landfill site selection in transitional countries: a case study from Serbia // Environmental Management. – Vol. 49(2). – 2012. – P. 445–458.
17. Apaydin O., Gonullu M. Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study. // Global NEST J. – Vol. 9(1). – 2007. –P. 6–11.
18. Micone P., Guy C. Odour quantification by a sensor array: an application to landfill gas odours from two different municipal waste treatment works. // Sens Actuators B: Chem. – Vol. 120(2). – 2007. –P. 628–637.

19. Serranti S., Bonifazi G., Pohl R. Spectral cullet classification in the midinfrared field for ceramic glass contaminants detection. // Waste Manage Res. – Vol. 24(1). - 2006. – P. 48–59.
20. Madden B. Spatial modelling of municipal waste generation: deriving property lot estimates with limited data. – 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105442>
21. Belinda Y., Jane M. Jacobs Down the Vertical Refuse Chutes in Singapore High-rise // Living Regional Development Dialogue. – Vol. 32(2). – 2011. – P. 85-98.
22. Булатов Н.К., Булатова Ж.Т. Мусоропровод многоэтажных, высотных жилых и общественных зданий. // Patent RK №34150. – 2021. <http://gosreestr.kazpatent.kz/>

Н.У. Тастемир¹, Н.К.Булатов*², И. Менендес Пидаль³

^{1,2} Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

³Мадрид политехникалық университеті, Мадрид, Испания

Қатты тұрмыстық қалдықтармен жұмыс істеу кезінде тиеу-түсіру жұмыстарын кешенді механикаландыру мен автоматтандыруды жетілдіру

Андатпа. Мақаланың өзектілігі – бүгінгі күні пайда болған қалдықтардың жаһандық проблемаға айналуын дәйектеу. Халық санының өсуі қалдықтардың пайда болу жылдамдығын едәуір арттырды. Оларды кәдеге жарату және басқару бүкіл әлемде үлкен экологиялық проблема тудырып отыр. Қалдықтарды басқару - тиеу-түсіру жұмыстарын кешенді механикаландыру мен автоматтандыруды қолдана отырып, жинау, сұрыптау, тасымалдау жөніндегі іс-шаралар кешені. Бұл мақаланың мақсаты қатты тұрмыстық қалдықтарды жинау, сұрыптау және тасымалдау кезінде тиеу-түсіру жұмыстарын кешенді механикаландыру мен автоматтандырудың ең заманауи әдістерін зерттеу болып табылады. Аталмыш мәселені зерттеудің ең оңтайлы әдісі – талдау әдісі. Бұл әдіс жақсы нәтиже беру үшін зерттеу жан-жақты жүргізілуі тиіс. Мақалада автоматтандыру әдістері, геоақпараттық жүйе және GPS, қашықтықтан зондтау, жүйелік инженерия әдістері, дамыған елдерде ең көп қолданылатын пневматикалық қалдықтарды тасымалдау жүйесі сияқты осы саладағы соңғы жетістіктер зерттеледі. Сонымен қатар көпқабатты тұрғын және қоғамдық ғимараттардың жаңа қоқыс шығару моделі ұсынылады. Талдау көрсеткендей, GPS қосымшалары негізінен жинау уақыты мен орнын анықтау үшін қоқыс жәшіктері мен қоқыс жинайтын көліктерді бақылауды жүзеге асырады. GPS және ГАЗ әдістері кешенді қолданған кезде, жұмыс нәтижелі болады. Ал қалдықтарды тасымалдаудың пневматикалық жүйесі көп қабатты тұрғын үй мен қоғамдық ғимараттардан қоқыс шығарудың жаңа моделін қолдану арқылы түзетуге болатын бірқатар кемшіліктерге ие.

Түйін сөздер: коммуналдық қалдықтар, қоқыстарды сұрыптау, қалдықтарды тасымалдау, қатты тұрмыстық қалдықтар, жергілікті қалдықтарды басқару.

N.U. Tastemir¹, N.K.Bulatov*², I. Menendez Pidal³

^{1,2}*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

³*Polytechnic University of Madrid, Madrid, Spain*

Improvement of complex mechanization and automation of loading and unloading operations, when handling solid household waste

Abstract. The relevance of this article is that, nowadays, waste generation has become a global problem. In the recent past, population growth has noticeably increased the rate of waste generation, and its disposal and management are a serious environmental problem worldwide. Waste management is understood as a set of measures for collection, sorting, transportation, with the use of effective complex mechanization and automation of loading and unloading operations. The purpose of this article is to study the most modern methods of complex mechanization and automation of loading and unloading operations during the collection, sorting and transportation of solid waste. The best method to study this problem is the analysis method, it makes it possible to explore the maximum number of sources to provide the best results. The article examines the latest achievements in this field, such as automation methods, geographic information system and GPS, remote sensing, system engineering methods, the pneumatic waste transportation system most used in developed countries, and also proposes a model of a new garbage chute for multi-storey, high-rise residential and public buildings. The analysis showed that GPS applications were mainly used to track garbage cans and garbage collection vehicles to monitor the time and place of collection. GPS and GIS methods work better together than separately. And the pneumatic waste transportation system has a number of significant drawbacks that can be corrected by using a new model of a garbage chute for multi-storey, high-rise residential and public buildings.

Keywords: municipal waste, garbage sorting, waste transportation, solid waste, local waste management.

References

1. World Population Prospects 2019: Revision Population – United Nations, 2020. <https://population.un.org/wpp/>.
2. Sharma B., Vaish B., Singh U.K., Singh P., Singh R.P. Recycling of organic wastes in agriculture: an environmental perspective // International Journal of Environmental Research. –2019. – Vol. 13, – P. 409-429.
3. Agacsapan B., Cabuk S.N. Determination of suitable waste transfer station areas for sustainable territories: Eskisehir case // Sustainable Cities and Society. –2020. – Vol. 52 (January). – №101829.
4. Heidari R., Yazdanparast R., Jabbarzadeh A. Sustainable design of a municipal solid waste management system considering waste separators: a real-world application // Sustainable Cities and Society. – 2019. – Vol. 47(19). – №101457.
5. Hoke M., Yalcinkaya S. Municipal solid waste transfer station planning through vehicle routing problem-based scenario analysis // Waste Manage Res. – 2021. – Vol. 39(1). – P. 185–196.
6. Zhang T. Temperature and gas pressure monitoring and leachate pumping tests in a newly filled MSW layer of a landfill // International Journal of Environmental Research. – 2019. – Vol. 13. – P. 1–19. – DOI 10.1007/s41742-018-0157-01.

7. Shmelev S., Powell J. Ecological-economic modeling for strategic regional waste management systems // *Ecological Economics*. – 2006. – Vol. 59(1). – P. 115–130.
8. Ghosh M., Chouhan D., Kamra A., Sharma V. Sustainable utilization of potato industry waste for antifungal biopolymer production by *Lactobacillus helveticus* and its application on pomegranates (*Punica granatum L.*). – 2021. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00120-2>
9. Pires A., Martinho G., Chang N. Solid waste management in European countries: a review of systems analysis techniques // *Journal of Environmental Management*. – Vol. 92. – Issue 4. – 2011. – P. 1033–1050. – DOI 10.1016/j.jenvman.2010.11.024.
10. Rathore P., Sarmah SP. Modeling transfer station locations considering source separation of solid waste in urban centers: a case study of Bilaspur city, India. // *Journal of cleaner production*. – Vol. 211. – 2019. – P. 44–60. – DOI 10.1016/j.jclepro.2018.11.100.
11. Yang K., Zhou X., Yan W., Hang D., Steinmann P. Landfills in Jiangsu province, China, and potential threats for public health: leachate appraisal and spatial analysis using geographic information system and remote sensing // *Waste Management*. – Vol. 28(12). – 2008. – P. 2750–2757.
12. Oluic M., Romandic S., Schaller A. Remote sensing and geophysical survey in site investigations for special waste disposal: Case study Trgovska Gora (Croatia) // *Environmental Science, Geology*. – 2006. – P. 199 – 206. <http://www.earsel.org/symposia/2005-symposium-Porto/pdf/025.pdf>.
13. Madi N., Srour I. Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS // *Resources Conservation and Recycling*. – Vol. 141. – 2019. – P. 163–175. – DOI 10.1016/j.resconrec.2018.10.018.
14. Ozkan A., Altan M., Banar M., Ayday C. Optimization of solid waste collection and transportation routes by using GIS. // *WSEAS Transactions on Environment and Development*. – Vol. 2(10). – 2006. – P. 1322–1327
15. Karadimas N., Loumos V. GIS-based modelling for the estimation of municipal solid waste generation and collection // *Waste Management & Research*. – Vol. 26(4). – 2008. – P. 337–346
16. Zelenovic V., Srdjevic Z., Bajcetic R., Vojinovic M. GIS and the analytic hierarchy process for regional landfill site selection in transitional countries: a case study from Serbia // *Environmental Management*. – Vol. 49(2). – 2012. – P. 445–458.
17. Apaydin O., Gonullu M. Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study. // *Global NEST J.* – Vol. 9(1). – 2007. – P. 6–11.
18. Micone P., Guy C. Odour quantification by a sensor array: an application to landfill gas odours from two different municipal waste treatment works. // *Sens Actuators B: Chem.* – Vol. 120(2). – 2007. – P. 628–637.
19. Serranti S., Bonifazi G., Pohl R. Spectral cullet classification in the midinfrared field for ceramic glass contaminants detection. // *Waste Manage Res.* – Vol. 24(1). – 2006. – P. 48–59.
20. Madden B. Spatial modelling of municipal waste generation: deriving property lot estimates with limited data. – 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105442>
21. Belinda Y., Jane M. Jacobs Down the Vertical Refuse Chutes in Singapore High-rise // *Living Regional Development Dialogue*. – Vol. 32(2). – 2011. – P. 85–98.
22. Bulatov N.K., Bulatova Z.T. Garbage chute of multi-store, high-rise residential and public buildings. // Patent RK №34150. – 2021. <http://gosreestr.kazpatent.kz/>

Сведения об авторах:

Тастемир Н.У. – докторант по специальности «Транспорт, транспортная техника и технологии», НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Кажымукана, 13, 010000, г. Астана, Республика Казахстан, 8-775-987-85-02, Tastemir.Nu@mail.ru.

Булатов Н.К. – автор для корреспонденции, к.т.н., старший преподаватель, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Кажымукана, 13, 010000, г. Астана, Республика Казахстан, 8-705-430-75-38, nurzhan_b_80@mail.ru.

Менендес Пидаль И. – доктор философии, профессор, Мадридский политехнический университет, г. Мадрид, Испания, +34 609 06 59 39, ignacio.menendezpidal@upm.es.

Тастемир Н.У. – «Көлік, көліктік техника және технологиялар» мамандығы бойынша докторант, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КЕАҚ, Қажымұқан к-сі 13, 010000, Астана қ-сы, Қазақстан Республикасы, 8-775-987-85-02, Tastemir.Nu@mail.ru.

Булатов Н.К. – хат-хабар үшін автор, т.ғ.к., аға оқытушы, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КЕАҚ, Қажымұқан к-сі 13, 010000, Астана қ-сы, Қазақстан Республикасы, 8-705-430-75-38, nurzhan_b_80@mail.ru.

Менендес Пидаль И. – философия докторы, профессор, Мадрид политехникалық университеті, Мадрид қ., Испания, +34 609 06 59 39, ignacio.menendezpidal@upm.es.

Tastemir N.U. – doctoral student in the specialty "Transport, transport equipment and technologies", L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhmukhan str. 13, 01000, Astana, Kazakhstan, 8-775-987-85-02, Tastemir.Nu@mail.ru.

Bulatov N.K. – corresponding author, Candidate of Technical Sciences, senior lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhmukhan str. 13, 01000, Astana, Kazakhstan, 8-705-430-75-38, nurzhan_b_80@mail.ru.

Menendez Pidal I. – PhD, professor, Polytechnic University of Madrid, Madrid, Spain, +34 609 06 59 39, ignacio.menendezpidal@upm.es.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



ХҒТАР 73.31.09

Ғылыми мақала

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-75-84>

Цилиндр-поршеньдік топ құрылысында керамикалық материалдарды қолдану

Кушалиев Д.К.*^{ID}, Қорабай Р.Б.¹

«Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

(E-mail: rizabekkorabay@gmail.com)

Аңдатпа. Мақалада ішкі жану қозғалтқышы конструкциясының тиімділігі мен тозуға төзімділігін арттыру үшін керамикалық материалдарды пайдалану туралы айтылады. Керамикалық материалдарды қолдану олардың температуралық факторларға жоғары төзімділігіне, сонымен қатар үйкеліс коэффициентінің төмендеуіне байланысты. Қолдануға неғұрлым қолайлы материалдар кремний карбидтері мен нитридтері болып табылады. Оларды өндіруге арналған шикізат табиғатта кең таралған заттар: кварц құмы, дала шпаты және каолин. Олардан ыстық престоу немесе байланыстырғыш заттарды пайдалана отырып, негізгі материалды агломерациялау арқылы қажетті пішіндегі бөлшектерді дайындау. Керамикалық кірістірулермен сұйық штамптау техникасы металлургиядағы композициялық бөлшектерді құю, суық күйде құю, қысыммен кристалдану арқылы құю, сондай-ақ тиксоқұю және тиксо-штамптау әдістерімен өндіруді білдіреді. Құралда алдын ала дайындалған металл керамикалық кірістіру бар.

Түйін сөздер: Жөндеу жинағы, ЦПТ, трибомуфта, іштен жанатын қозғалтқыш, поршень, цилиндр.

Түсті: 28.10.2023. Жөнделді: 28.11.2023. Мақұлданды: 05.01. 2024 Онлайн қолжетімді: 29.03.2024

* хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Керамикалық материалдардан жасалған қозғалтқыш бөлшектердің әдеттегіден (олар 250-450°C температурада жұмыс істейді) айырмашылығы 1300-1500°C температураға төтеп бере алады [1]. Керамиканың жоғары ыстыққа төзімділігі мен төмен жылу өткізгіштігінің арқасында жеке бөлшектерді салқындатудың қажеті жоқ. Ал барлық бөлшектер керамикалық материалдардан жасалған кезде, салқындату жүйесінің мүлдем қажеті болмайды. Сондай-ақ, керамикалық бұйымдардың салмағы сондай беріктіктегі металл бұйымдарға қарағанда азырақ болады [2]. Осылайша, керамикалық қозғалтқыштың жеке моделін жасап жатқан Cummins компаниясының пайымдауы бойынша, салқындату жүйесінің құрылысы жеңілдетіледі. Яғни су сорғысы мен радиатор сияқты бөлшектердің алынуына байланысты қозғалтқыштың салмағы бірдей қуаттың дәстүрлі қозғалтқыштармен салыстырғанда 20% -ға азаяды.

Жоғары цикл температурасын жасау және салқындату бөліктеріне байланысты жылу шығындарын жою қозғалтқыштың тиімділігін 45%-ға және одан жоғарыға дейін арттырады, отын шығынын айтарлықтай төмендетеді; тәжірибие нәтижелері бойынша керамикалық қозғалтқыш көрсеткіштері 34% -ға аз болады.

Двигатель жану камерасының бөліктері температурасының жоғарылауына байланысты (1200°C дейін) керамикалық қозғалтқыштардың әр түрлі отын түрлерін тұтынуын жүзеге асыру өте маңызды. Керосин, бензин, дизельдік отын, спирт, көмір мен тақтатастардан жасалған синтетикалық отын, қажет болған жағдайда мазуттың кейбір түрлерін де қолдануға болады. Сонымен қоса, жану камерасындағы температураның жоғарылауына байланысты жартылай жүктемелер кезінде қозғалтқыштың отын тиімділігі айтарлықтай артады, бұл қалалық жағдайларда қозғалатын көліктер үшін өте маңызды [3]. Цилиндрлерде отынның толық жануы арқылы пайдаланылған газдардың уыттылық деңгейі де төмендейді.

Жоғары температурада (250-450°C) жұмыс істейтін және жоғары тозуға ұшырайтын қозғалтқыш бөліктері үшін кремний карбидтері мен нитридтері ең қолайлы керамикалық материалдар ретінде қарастырылуы керек. Оларды өндіруге арналған шикізат табиғатта кең таралған заттар: кварц құмы, дала шпаты және каолин. Демек, қозғалтқыш құрылысында керамикалық бөлшектердің қолданысы қымбат легирленген маталлдар мен ыстыққа төзімді болаттарға қарағанда двигатель құнын азайтуға мүмкіндік береді.

Кремний карбидтері мен нитридтерінің қолайлы қасиеттерін технологияда пайдалану олардан ыстық престоу немесе байланыстырғыш заттарды пайдалана отырып, негізгі материалды агломерациялау арқылы қажетті пішіндегі бөлшектерді дайындау технологиясын құрудың арқасында мүмкін болды. Бұл технологияны қолдану арқылы алынған керамикалық материалды өңдеу жеңіл, сондықтан қозғалтқыш бөлшектерін жасауда оған артықшылық берілгені маңызды.

Әдістер

Керамикалық кірістіру металлургиялық машинада құю, салқындату, қысыммен кристалдану арқылы құю, тиксо-құю және тиксо-штамптау арқылы композициялық бөлшектерді өндіру саласына жатады. Құралға алдын ала дайындалған металл керамикалық кірістіру орнатылған.

Содан кейін поршеньдік корпус пен юбка қалыпталады. Нәтижесінде мұндай поршеньдерді қолданыстағы жабдықты пайдалана отырып өнеркәсіптік өндіру және сапасын жақсарту мүмкіндіктері кеңейеді. Өнертабыс металлургиялық машина жасауда құю, салқындату, қысыммен кристалдану арқылы құю, сондай-ақ тиксо-құю және тиксо-штамптау әдістерімен композициялық бөлшектерді өндіру саласына жатады және басқалардан әртүрлі композиттік бұйымдарды өндіруде қолданылуы мүмкін.

Құрама бөлшектерді құю жергілікті беріктікті арттыруға, тозуға төзімділікті жоғарылатуға, құймалардың дайындығын жақсартуға және олардың жаңа қасиеттерін орнықтыруға мүмкіндік береді.

Ұсынылған әдістің баламасы іштен жанатын қозғалтқыштар (ICE) үшін композициялық поршеньдерді өндіруде қолданылатын әдіс болып табылады. Мұнда поршеньдік сақиналардың орнатылатын жерінің беріктігі жоғары материалдардан - легирленген болаттан немесе шойыннан жасалған кірістірулерден жасалады. Поршеньдік материалмен берік байланысты қамтамасыз ету үшін мұндай кірістіру алдын ала қыздырылады, алюминизирленеді және поршеньнің негізгі корпусы қалыпты немесе қалыпта құрайтын металмен толтырылады. Бұл технология өнеркәсіпте кеңінен қолданылады [4]. Дегенмен, автомобиль өнеркәсібіндегі прогреске байланысты қозғалтқыштардың тиімділігін арттыру үшін поршеньдерде металл керамикалық қосымшаларды қолдану жұмыстары жүргізілуде.

Композиттік металл-керамикалық бөлшектерді қысыммен кристалдау арқылы құюдың сіңдіру және жеке компоненттерді бір бүтінге біріктіру әдістері қолданылады.

Нәтижелер

Бұл әдістің эксперименттік мысалы жұмыс камерасына поршень түзетін кеуекті керамикалық кірістіруді орнатуды, осы камераға сұйық металды құюды, кеуекті мөлшерлемені балқымамен сіңдіруді және металды қысыммен кристалдануды қамтитын композициялық бөлшектерді кристалдану арқылы жасау әдісі болып табылады.

Кемшіліктер:

- ірі қорытпалы құрамдастардың сүзілуінің жоғарылауы және олардың сіңдірілген кірістіру материалының шекарасында жиналуы;
- дайындаманың негізгі материалының құрамынан және дайындаманың негізгі материалынан химиялық құрамы бойынша ерекшеленетін сұйық субстанцияға малынған кірістіру құрамынан ерекшеленетін өзіндік химиялық құрамы бар айтарлықтай буферлік аймақтың – шекараның пайда болуы;

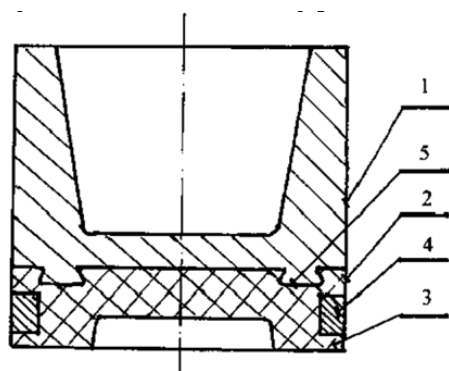
– сіңдірілген кірістірумен шекарадағы сіңдірілген материалдың механикалық қасиеттерінің өзгеруі, бұл бөліктің негізгі материалынан кірістірудің бөліну әсеріне әкеледі, ал механикалық жүктемелер кезінде дәл осы аймақта дайындаманың бұзылуы орын алады.

Металл-керамикалық кірістірулері бар ішкі жану қозғалтқыштары үшін поршеньдік әзірлемелерді дайындаудың ұсынылған әдісінің техникалық нәтижесі жоғарыда көрсетілген кемшіліктерді жою, өткізгіш керамикалық кірістіруді балқытылған металмен сіңдіру және тұтастай алғанда поршеньді сығымдау.

Бұл жағдайда, өндірістің бірінші кезеңінде поршень керамикалық дайындық керамиканы балқытылған металмен сіңдіру арқылы бөлек пресс-формада дайындалады койковка процесі жүреді. Металл-керамикалық кірістіруді алдын-ала дайындау сіңдіргіш материалдан керамикаға қарапайым шайба арқылы қажет емес өту аймағын жоюға мүмкіндік береді. Сіңдіретін материалды таңдау арқылы кермет кірістіруінің жоғары механикалық қасиеттеріне қол жеткізіледі. Сонымен қоса, металл керамикалық кірістіруді бөлек дайындау тәсілі оның қасиеттерін жақсартатын басқа элементтерді қосуға мүмкіндік береді. Мысалы, бұрандалы емес лайнерлер мен желдеткіш сақиналарды енгізу қозғалтқыштың жалпы жұмысын айтарлықтай жақсарта алады. Сонымен қатар, поршень корпусының металмен кірістірудің берік адгезиясына ықпал ететін бірқатар техникалық әдістерді қолдануға болады. Мысалы, поршень юбкасына қатысты конустық жағы бар лайнердің соңғы бетінде ойық немесе соқыр тесік пайда болады, ол поршеньді престеу кезінде балқытылған материалмен толтырылады [4]. Поршень өндірісінің екінші кезеңінде металл-керамикалық кірістіру поршень дайындамасын жасауға арналған камераға орналастырылады, қажетті қорытпалармен толтырылады және өнім кокиль құю, құю немесе балқыманы кристалдандыру арқылы құю сияқты белгілі әдістермен орындалады.

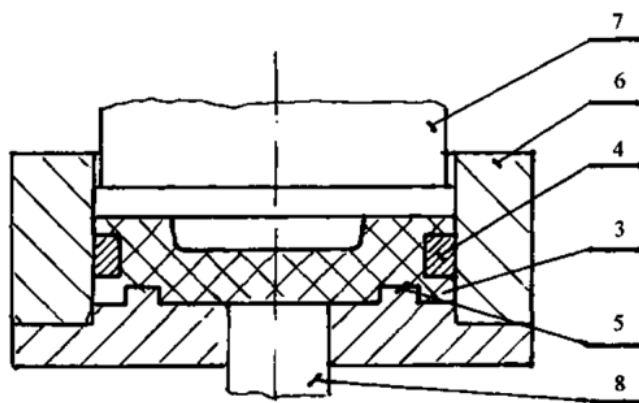
Ұсынылған әдістің техникалық нәтижесі поршеньдік корпус пен юбканы қалыптау торлы пресс түрінде немесе кокиль құю формасында немесе алдын-ала дайындалған металл-керамикалық лайнер орналастырылған және поршеньдік корпус пен юбканы қалыптау жүзеге асырылатын инъекциялық қалыпта жүзеге асырылады. Бұл жағдайда кірістірудің соңғы бетінде поршеньдік юбка және кері конустық сақиналы депрессия пайда болады немесе кірістірудің соңғы бетінде соқыр тесік орнығады, ал кеуекті керамикалық кірістіруге балқымамен сіңдіру алдында қатайтатын сақина бекітіледі.

Металл керамикалық кірістірулері бар іштен жану қозғалтқыштары үшін поршеньді әзірлемелерді дайындаудың ұсынылған әдісі бойынша графикалық материалдар 1-3 суретте көрсетілген. Мұнда: 1-суретте металл керамикалық кірістіруі бар поршеньдің конструкциясы берілген;



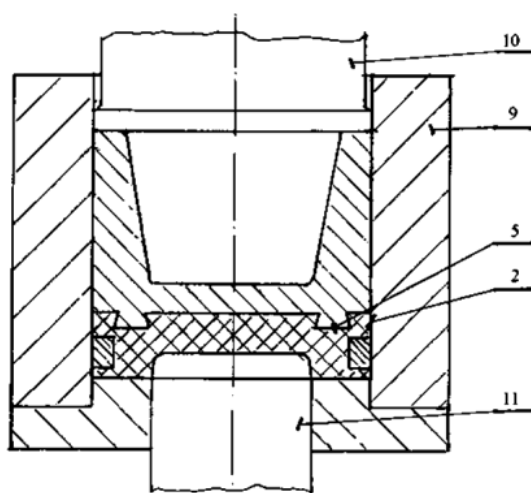
Сурет 1. Метал-керамикалық кірістірумен жасалған поршень

2-суретте металл керамикалық кірістіруді сіндіру және құрастыру үшін арналған штамп көрсетілген;



Сурет 2. Метал-керамикалық кірістіруді сіндіруге және құрастыруға арналған штамп

3-суретте поршеньді қалыптауға арналған қалып (салқындату) көрсетілген.



Сурет 3. Поршеньді қалыптауға арналған штамп (кокиль)

№2 металл керамикалық кірістірумен №1 двигатель поршенінің конструкциясы құрастырмалы қондырғы болып табылады. Ол металмен сіңдірілген №3 керамикалық шайбадан тұрады және №2 керамикалық кірістіру поршень өнімділігін жақсартатын №4 қарсылық сақинасын немесе басқа (мысалы, желдету) сақинаны қамтуы мүмкін. № 2 металл-керамикалық кірістіру поршеньнің қалған бөлігімен үлкен сенімділік үшін №5 құлыптау қосылымымен жалғасады. Бұл сақиналы ойықтар немесе оның соңғы бетіндегі соқыр тесіктер сериясы, поршеньнің юбкасына қарсы бүйірлік конус. Металл-керамикалық кірістіруді жасау үшін №3 қыздырылған кеуекті керамикалық шайба металл-керамикалық кірістіруді құрастыру үшін мөртабанға салынады. Қажет болса, бұл мөртабанға алдын ала алиттелген №4 резистивті емес сақина қосымша орнатылады. Содан кейін керамиканы сіңдіруге арналған Балқыма құйылады. №7 соққының көмегімен балқыманың бетіне қысым қолданылады, онда металл-керамикалық кірістірудің сұйық бөлігі сіңіп, кристалданады. Дайын өнімді итеру №8 итергішпен жүзеге асырылады. Механикалық өңдеу нәтижесінде алынған кірістірудің өлшемдері берілген мәнге жеткізіледі, оның ішінде №1 негізгі поршеньнің металына неғұрлым берік қосылуға арналған құлыптау қосылыстары орындалады. Алынған №2 керамикалық кірістіру поршень дайындамасын одан әрі қалыптауда қолданылады. Ол үшін оны қайта қыздырып, металл-керамикалық кірістірілген поршеньді қалыптау үшін №9 матрицаға орналастырады. Сұйық штамптау кезінде поршеньнің негізгі материалы балқымасының белгілі бір мөлшері сол матрицаға құйылады. Қатты сұйық штамптау кезінде рео немесе тикс дайындамасының бір бөлігі салынады. Содан кейін поршеньді дайындаманың соңғы штамптауы жасалады.

Сұйық штамптау кезінде сол матрицаға поршеньдік негіз материалының балқымасының белгілі бір мөлшері құйылады. Қатты сұйықтықты штамптауды пайдаланған кезде рео- немесе тикс-дайындаманың бір бөлігі салынады. Содан кейін поршеньдік дайындаманың соңғы штамптауы орындалады.

Металл керамикалық кірістірулері бар двигательдар үшін поршеньдік дайындамаларды өндіру әдісін пайдалану келесі нәтижелерді береді:

- өнеркәсіпте бар жабдықты пайдалана отырып, мұндай поршеньдерді өнеркәсіптік өндіру мүмкіндігін кеңейту;
- осындай поршеньдерді құю, құю, құю, тиксо- және қайта штамптау әдістерімен жасау мүмкіндігін іске асыру;
- жоғары сапалы металл керамикалық кірістірумен поршеньді дайындамалар алу;
- күшейткіш ни-резисттік және желдеткіш сақиналары бар беріктігі жоғары металл керамикалық кірістірулерді алу.

Алюминий қорытпаларының бетін өзгертудің тиімді, үнемді және экологиялық таза әдістерінің бірі микродоғалық тотығу болып табылады [5]. Процесс электролитке орналастырылған бөлшектердің бетіндегі микродоғалық разрядтар түріндегі жоғары температуралы электрохимиялық реакцияға негізделген. Реакция нәтижесінде қаттылығы мен беріктігі жоғары, химиялық белсенділігі төмен, жылу және электр өткізгіштігі бар қалың (400 мкм-ге дейін) жабындар пайда болады. Пленканың механикалық параметрлері электролит құрамымен және электр өңдеу режимдерімен

реттеледі. Электролиздерге натрий, калий және басқа легирлеуші элементтердің сілтілі ерітінділері жатады. Процестің белсендіру кернеуі әдетте 450-500 В құрайды.

Микро-доғалық жабындардың негізгі артықшылықтары болып табылады [1][2][6]

- беріктігі бойынша гауһар тастардан кейінгі өте берік жабындарды жасау мүмкіндігі;
- кез келген конфигурациядағы бөлшектердің сыртқы және ішкі беттеріне жабындарды жағу мүмкіндігі;
- қосымша бояусыз жабындардың әртүрлі түстерін алу мүмкіндігі;
- беттерді алдын ала өңдеудің қажеттілігінің болмауы;
- коррозиядан шаршауға жоғары төзімділік (жоғары төзімділік шегі);
- керамикалық жабыны бар қозғалтқыш жылуды ұстауға байланысты қуаттың ұлғаюын көрсетеді, яғни тиімділігін 8-10%-ға арттырады.

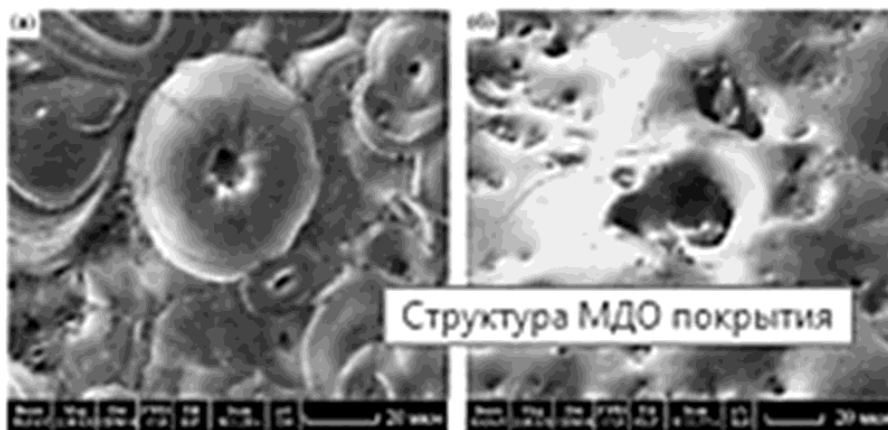
1-кестеде қорытпаларға МДО жабындарының техникалық сипаттамалары берілген:

Кесте 1

Қорытпалардағы МДО жабындарының техникалық сипаттамасы

Сипаттама	Магний қорытпалар	Алюминий қорытпалар
Қаптау қалыңдығы, (мкм)	10-300	10-300
Микроқаттылық, (Н.В.)	650-950	800-1950
Үйкеліс коэффициенті	0,01- 0,02	0,01 – 0,02
Бұзылу кернеуі, (В)	600	4500

Сурете микро-доғалық жабындар көрсетілген.



а

б

Сурет 4. а) Алюминий жабын AD31, б) магний ML5 қорытпа

Жабындардың қасиеттеріне бұйымдардың бетінде керамикалық оксидті пленкаларды қалыптастыру арқылы қол жеткізіледі, атап айтқанда - Al_2O_3 (корунд), бұл

бөлшектердің тозуға және коррозияға төзімділігін бірнеше есе арттыруға мүмкіндік береді [2]. Микродоғалық тотығу технологиясы арқылы өндірілген іштен жану қозғалтқышының бөлшектеріне керамикалық жабындар тозуды 10 есе азайтады және іштен жанатын қозғалтқыштың қызмет ету мерзімін арттырады [7].

Қорытынды

Осылайша, бұл ғылыми зерттеулер, егер поршеньдік профиль мен цилиндр төсемі технологиялық талаптарға сәйкес дұрыс орындалса, бірдей сызықтық кеңею коэффициенті бар материалдарды пайдалана отырып, ішкі жану қозғалтқышының цилиндр-поршеньдік тобына жөндеу жинағын әзірлеуге мүмкіндік береді. Жоғарыда сипатталған операциялар поршеньдік сақиналарды пайдалануды болдырмайды.

Авторлардың қосқан үлесі

Кушалиев Д.К., идея авторы болып табылады, жұмыстың бағыты мен бастапқы мәліметтерді ұсынды. Жұмыстың бастылуы мен жүзеге асырылуына үлес қосты.

Қорабай Р.Б., жетекші ұсынған идеяны әрі қарай жетілдіріп, жаңа мәліметтер жинап, жұмысты аяқтады.

Әдебиеттер

1. Дударева Н.Ю. Влияние керамического покрытия, формируемого методом микродугового оксидирования, на прочность поршней двигателей внутреннего сгорания / Н.Ю. Дударева, А.А. Ишемгузин // Прочность неоднородных структур – ПРОСТ 2023: Сборник трудов XI Евразийской научно-практической конференции, Москва, 18–20 апреля 2023 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Студио-Принт", 2023. – С. 192. – EDN JNEWBT.
2. Бутусов И.А. Исследование влияния микродугового оксидирования на износостойкость поршня ДВС / И.А. Бутусов, Н.Ю. Дударева // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2013. – № 9. – С. 127-144. – EDN RMYELL.
3. Дударева Н.Ю. Исследование влияния керамического покрытия на тепловое состояние гильзы цилиндра / Н. Ю. Дударева, М. А. Прокофьева // Двигателестроение. – 2021. – № 3(285). – С. 3-6. – EDN НАКВАР.
4. Ефимова В.А. Специальные способы литья. Справочник. Машиностроение, 1991. 669 с.
5. Липчин Т.Н. Получение заготовок поршней литьем с кристаллизацией под давлением. Издательство Томского университета, Пермское отделение, 1991. С.117.
6. Милованов Д.А. Исследование свойств МДО-покрытий для цилиндрико-поршневой группы ДВС при нанолегировании / Д. А. Милованов, А. В. Чавдаров // Труды ГОСНИТИ. – 2018. – Т. 132. – С. 176-181. – EDN VLSWAM.
7. Чавдаров А.В. Перспективы использования технологии МДО для двигателей внутреннего сгорания / А. В. Чавдаров, В. А. Денисов // Агроинженерия. – 2020. – № 5(99). – С. 38-42. – DOI 10.26897/2687-1149-2020-5-38-42. – EDN ZMMVGO.

Кушалиев Д.К.¹, Қорабай Р.Б.¹

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан

Использование перспективных материалов в цилиндропоршневых группах

Аннотация. Данная статья повествует об использовании керамических материалов для повышения эффективности и износостойкости конструкции двигателя внутреннего сгорания. Применение керамических материалов обусловлено высокой стойкостью к температурным факторам, а также сниженным коэффициентом трения. Карбид кремния и нитрид кремния являются более подходящими материалами. Эти материалы широко распространены в природе, такие, как кварцевый песок, полево шпат и каолин, и используются для производства компонентов требуемой формы путем горячего прессования или спекания основного материала со связующим. Технология жидкой штамповки с керамическими вставками относится к области производства композиционных деталей в металлургическом машиностроении методами литья, холодного литья, литья под давлением, тиксолитья и тиксоштамповки. В состав оснастки входят готовые металлокерамические вставки.

Ключевые слова: ремонтный комплект, ЦПГ, трибосопряжение, ДВС, поршень, гильза.

Use of ceramic materials in cylinder piston groups

Kushaliev D.K.¹, Korabay R.B.¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Abstract. This article talks about the use of ceramic materials to increase the efficiency and wear resistance of the internal combustion engine design. The use of ceramic materials is due to their high resistance to temperature factors, as well as a reduced coefficient of friction. More suitable materials to use are silicon carbides and nitrides. The raw materials for their production are substances widespread in nature: quartz sand, feldspar and kaolin. manufacturing parts of the required shape from them by hot pressing or sintering of the base material using binders. The technique of liquid stamping with ceramic inserts refers to the production of composite parts in metallurgical engineering using the methods of casting, cold casting, casting with crystallization under pressure, as well as thixocasting and thixo-stamping. The tool has a prefabricated metal-ceramic insert.

Keywords: Transport, repair kit, CPG, tribocoupling, internal combustion engine, piston, liner.

References

1. Dudareva, N. Yu. Effect of ceramic coating, formed by the method of micro-arc oxidation, on the strength of internal combustion piston engines / N. Yu. Dudareva, A. A. Ishemguzhin // Strength of heterogeneous structures - PROST 2023: Proceedings of the 11th Eurasian Scientific and Practical Conference, Moscow, April 18-20, 2023. - Moscow: Studio-Print Limited Liability Company, 2023. - S. 192. – EDN JNEWBT.

2. Butusov, I. A. Investigation of the influence of micro-arc oxidation on the wear resistance of the diesel engine piston / I. A. Butusov, N. Yu. Dudareva // Science and education: scientific publication named after MGTU. N.E. Bauman. - 2013. - No. 9. - S. 127-144. – EDN RMYELL.

3. Dudareva, N. Yu. Investigation of the influence of ceramic coating on the thermal state of the sleeve cylinder / N. Yu. Dudareva, M. A. Prokofieva // Dvigatelsestroenie. - 2021. - No. 3(285). - S. 3-6. – EDN HAKBAR.

4. Efimova V.A. Special casting methods. Directory. Machine building, 1991, p. 669.

5. Lipchin T.N. Production of blanks by piston casting with crystallization under pressure", publishing house of Tomsk University, Perm Department, 1991, p. 117.

6. Milovanov, D.A. Investigation of the properties of MDO-coating for the cylinder-piston group DVS with nano-alloying / D. A. Milovanov, A. V. Chavdarov // Trudy GOSNITI. - 2018. - Vol. 132. - S. 176-181. – EDN VLSWAM.

7. Chavdarov, A.V. Perspectives of using technology MDO for internal combustion engines / A.V. Chavdarov, V.A. Denisov // Agroengineering. - 2020. - No. 5(99). - S. 38-42. – DOI 10.26897/2687-1149-2020-5-38-42. – EDN ZMMVGO.

Сведения об авторе (авторах):

Кушалиев Даурен Кайсарович, к.т.н., Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, улица Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, zkaty777@mail.ru

Қорабай Ризабек Бахтиярұлы, докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, улица Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, rizabekkorabay@gmail.com

Кушалиев Даурен Кайсарович – т.ғ.к., Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Кажымукан, 13 Астана, Қазақстан, zkaty777@mail.ru

Қорабай Ризабек Бахтиярұлы - докторант, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Кажымукан, 13, Астана, Қазақстан, rizabekkorabay@gmail.com

Kushaliev Dauren Kaisarovich, candidate of technical sciences, teacher, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan street, 13, Astana, Kazakhstan, zkaty777@mail.ru

Korabay Rizabek Bakhtiyaruly, PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan street 13, Astana, Kazakhstan, rizabekkorabay@gmail.com



IRSTI 73.29.21

Review article

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-104-113>

Organizing passenger flows at the station complex

B.N. Muratbekov*¹, L. Vakhitova², G. Muratbekova³, N. Aimanbetov⁴

^{1,2}Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan

³Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan

⁴S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan

(E-mail: *b.muratbekov@alt.edu.kz, l.vakhitova@alt.edu.kz, gv170471@mail.ru,
nur.aimanbetov93@mail.ru)

Abstract. This article considers the issue of optimizing passenger traffic at the station complex in modern conditions. The experience and scientific research of foreign scientists from China, Japan and Russia have been studied. Four different ways of organising passengers are discussed, with the most promising and working method revealed to be a comprehensive change in the train schedule and dynamic routing of passengers with absolute blocking. A forecast model in its turn depends on verifiable information, can more or less produce anticipated approaching volume of people, but it appears to be compelling when there are celebrations or understudy occasions. Whereas building a modern stage with a reason of facilitating an exchanging section does relieve the circumstance at the station and security measures considerably. Lastly, the most issue of serving traveler amid the COVID-19 pandemic were taking off strategy from stations and arrangement of travelers to sit separated at a certain distance for shirking of cleansing. In this master's proposal, the procedures to handle and gauge traveler stream have been regarded, but activities need to be made amid breakdown of trains have not been surveyed.

Keywords: passenger flow, prediction model, integrated timetable rescheduling, passenger routing, COVID-19.

Received 27.11.2023. Revised 28.11.2023. Accepted 13.03.2024. Available online 29.03.2024

1*B.N. Muratbekov

Introduction

There are several types of railroad stations: some are placed under the ground (subway) and other are located above the ground. In this paper, above the ground level type is considered, namely, a station complex [1].

Due to their consistently increasing speed, high level of safety, and exceptional comfort, trains are becoming the preferred mode of transportation for an increasing number of people. The railway station, which serves as both a hub and a carrier for passengers, has a significant impact on rail passenger transportation since a steady stream of passengers is what keeps the station operating normally and without load redundancy [1]. This implies that a fair and accurate forecast of the number of passengers entering and departing the station may serve as a solid foundation for both the deployment of employees and the distribution of resources, as well as the work of security. The passenger flow volume is a highly nonlinear function of time that not only varies over time but is also influenced by a variety of outside sources. The passengers visiting the train station have more visible features than those entering other similar application scenarios (shopping centers, highways, scenic areas), such as obvious periodicity that is measured in days. For instance, the weather might affect how many people are traveling through the train station. Nevertheless, notwithstanding the regional variations brought on by the weather, the general trend is almost unchanged. Second, there are times when the number of people entering the station at each interval and the number of trains at the following interval are closely related. This variation in the number of people is particularly noticeable during the winter and summer vacations as well as other statutory holidays. Despite the fact that railroad transportation was developed to achieve a large transport capacity for overcoming activity clog and transport capacity imperatives in some countries with a large population (such as China and Japan), it is still difficult to manage railroad operation while adjusting the large transport capacity and spatiotemporally uneven distribution of traveler demand [2].

Having reviewed the importance of the challenge, in the next section of this article, there will be reviewed different means of estimating passenger flow starting from prediction models, commercial software, timetable rescheduling, and ending with COVID-19 period case as well as innovative management.

Literature review

2.1 Neural network-based prediction model for passenger flow in a large passenger station: An exploratory study

The Chinese researchers have conducted a study involving passenger flow of Beijing station in a period from 2017 to 2018. The primary method used to create the passenger flow prediction model is neural network-based prediction, where the inputs are the primary variables that affect how the passenger flow changes and the outputs are the outcomes of the prediction [2]. It is more accurate to create the weighted forecast by combining with the historical data since the station schedule is planned in a day cycle and the passenger flow is of distinct periodicity without considering the interference of external variables. The estimations from the prediction model can be seen in the following table:

Table 1

The annual passenger flow of Beijing from June 1 to May 31 (2017-2018) [3]

Data	Daily passenger/ Ten thousand people	Data	Daily passenger/ Ten thousand people
2017/6/1	132.5	2017/10/1	134.2
2017/6/2	113.5	2017/10/2	106.5
2017/6/3	136.5	2017/10/3	117.5
2017/6/4	96.7	2017/10/4	86.8
2017/6/5	124.7	2017/10/5	117.6
2017/6/6	94.2	2017/10/6	93.9
2017/6/7	88.3	2017/10/7	94.8
2017/6/8	85.2	2017/10/8	128.7
2017/6/9	95.3	2017/10/9	116.2
2017/6/10	105.8	2017/10/10	124.4
2017/6/11	111.7	2017/10/11	128.4
2017/6/12	125.7	2017/10/12	97.2
2017/6/13	93.7	2017/10/13	138.2
2017/6/14	105.5	2017/10/14	137.1
2017/6/15	94.6	2017/10/15	121.6
2017/6/31	85.2	2018/2/14	72.9

Table 1 shows that there is some regularity to the Beijing's passenger movement. Among them, there is a significant variation in the passenger flow in February 2018. The Spring Festival, China's most significant traditional holiday, is the primary cause of this phenomena. Beijing was a top city dominated by immigrants in January [3]. A significant surge in passenger traffic was brought on by the high number of immigrants who left Beijing during this time of year to travel back to their hometowns. Additionally, each year's July sees a surge in the rise of passenger traffic. This time frame corresponds to China's school year's summer break, in which students are observed to travel a lot. Though the neural network-based prediction model applies formula for passenger flow estimation and errors in calculations are inevitable, this method has proven to clearly show a significant difference of fare stream during festivals and student holidays. It cannot be denied though predicting the flow through historical data is prone to be an old means itself and to have a lot of errors, being used for many years should be definitely replaced with novel techniques of forecasting [4].

2.2 Estimation of passenger flow for planning and management of railway stations

Another study held by Japanese investigators delivers the information about the organizing process of passenger flow at Takatsuki station. Given the station's popularity, a smooth organization process of passengers' movement within the station is discussed. In this paper, to assess the suggested layout, a supplementary platform Osaka bound is adjoined to Kyoto bound (see Figure 1) [5].

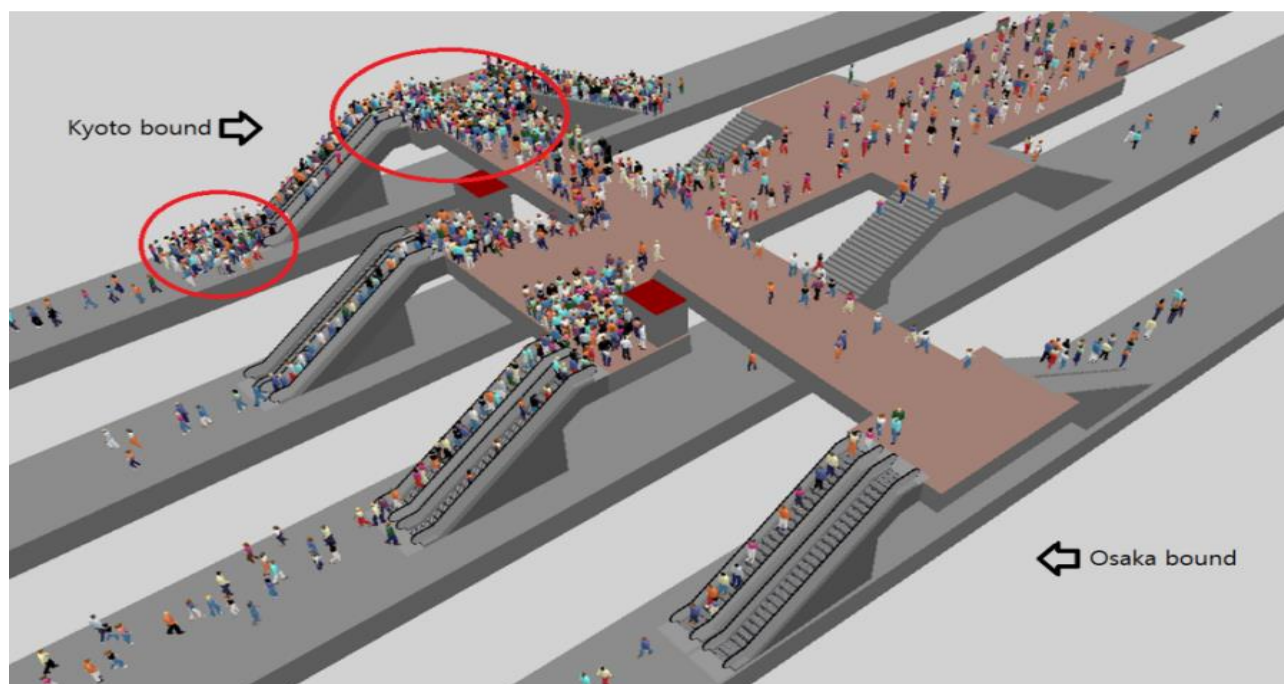


Figure 1 - Artistic imagination of the proposed platform [5]

According to the findings, the existing platform's congestion will lessen. However, due to flow conflicts between passengers transferring and those boarding and alighting, connecting routes to the new platform may get crowded [5]. In other words, the concourse area would experience more congestion than the current platform does. That is considerably preferable than the existing scenario in terms of safety. In any case, it could now be viable to look at altering the train schedule to lessen harmonics among transferring passenger flows in order to further ease the congestion on the sidewalks. The methods authors of this paper suggest is going to be described in more details in the next literature.

2.3 Integrated railway timetable rescheduling and dynamic passenger routing during a complete blockage

Further research conducted by Chinese investigators reveals that for railway dispatchers and passengers, real-time train rescheduling is crucial during a total track closure. In this study, they added the passenger route option to the train rescheduling problem [6]. A space-time network-based integer linear programming (ILP) model creates the integrated train rescheduling and passenger routing. This algorithm was able to determine the precise paths for each train as well as the viable, complete train disposition timetable. Additionally, routes for passengers were adjusted taking into account a disruption's restricted train capacity. With the assumption that the passenger Origin-Destination (OD) requests are known both before and after the interruption, the model was proven to be appropriate for train systems without seat reservations [6]. Estimations from ILP model yields the following data:

The sensitivity analysis of parameter ω .

Test	Value of ω	Objective value	Train operation cost	Passenger travel cost	Canceled train
1	1	7976	416	7560	0
2	10	11,360	236	9000	1
3	20	12,760	88	11,000	2
4	30	13,640	88	11,000	2
5	40	14,520	88	11,000	2
6	50	15,000	0	15,000	3

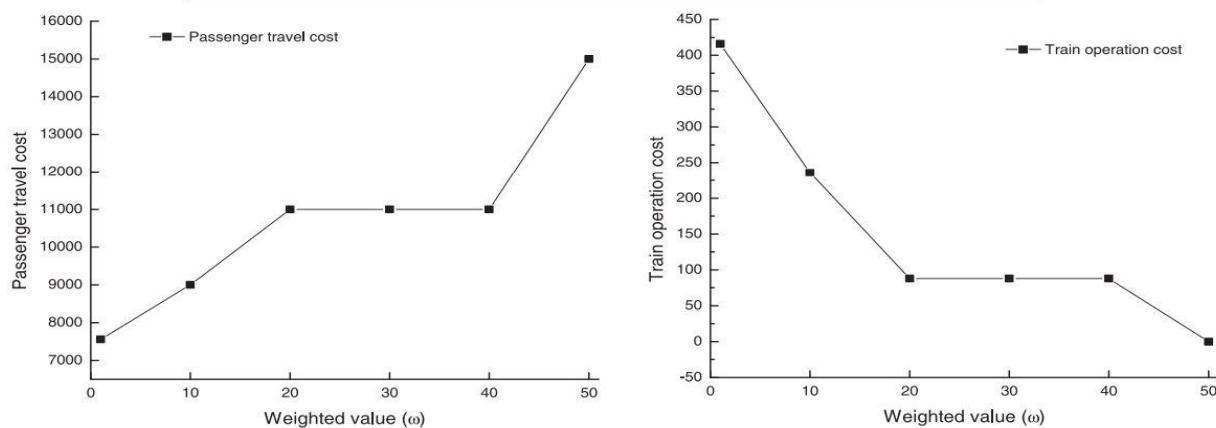


Figure 2 - The influence of train rescheduling and passenger routing on both the train operation cost and passenger travel cost [7]

Application of integrated train rescheduling along with passenger routing proves itself to be efficiently operating [7]. In comparison with the former two techniques, this method excels them by challenging case solution. Namely, using ILP model for cases when passenger flow is highly dense and how train rescheduling can aid to resolve the issue subsequently.

2.4 Influence of Passenger Flow at the Station Entrances on Passenger Satisfaction Amid COVID-19

The given report has been made by Russian explorers on Moscow railway stations. The authors utilized the statistics data from the "Railway Media" portal as the baseline information for estimating passenger flow (passenger traffic at Moscow stations for 2019) [8]. Estimates of long-distance railway and suburban train passenger traffic were generated using statistical data. The research had no impact on the perceived quality of long-distance railway stations; in 2019, it accounted for 18% of all passenger traffic at the Moscow stations (statistically significant relationship is not disclosed). Long-distance train passengers often visit Moscow stations far less frequently than suburban train passengers [8]. An emphasis was put on the challenges that visitors to the station complex encountered at the entry in particular. The variation in the number of complaints at stations is mostly caused by the volume of passengers at various stations. The complaint – leaving station process's complexity is the cause. Assessing passenger traffic through stationary inspection equipment resulted in the next numbers:

Table 2

Evaluation of the entry grouping capacity for Moscow station complexes using stationary inspection equipment [8]

Station	Maximum Capacity of Entrance Groups Equipped with Stationary Inspection Equipment (persons/min.)
Yaroslavsky	140
Kursky	280
Kazansky	280
Kievsky	200
Leningradsky	200
Belorussky	220
Savyolovsky	20
Paveletsky	160
Rizhsky	20

This paper is not less important for a reason that it has been explored during COVID-19 outbreak. The operation of station complexes in this kind of situations is of high significance because railway stations are centers of mass accumulation of people [6]. Since the research is based on the pandemic period, it gives thorough understanding of how to handle passenger traffic on station complexes. Overall, the study shows that the majority of passengers waited no more than 5 minutes at each of the mentioned stations in Table 2. It is also reported that there were no problems of serving passengers during this period, considering individuals had to keep a certain distance from each other to prevent disinfection [8]. Even though there were no major casualties in passenger service on station complexes, it is still important to be ready to have a station complex operate in problematic circumstances such as COVID-19 pandemic.

Conclusion

In conclusion, the above ground station complex has been regarded in the given paper. As long as a train station is intended for a surge of a passenger stream, in order for it to function properly, aside from station functions, the process of organizing passenger flow should be taken into account as well. In this article 4 various ways of managing passenger flow have been reviewed. Particularly, neural network-based prediction model relying on historical data of a station, the construction of a new platform to lessen a congestion of sidewalks generated by passengers, train rescheduling and passenger routing in a case of a track closure or high density of boarding passengers, and the arrangement of passenger current amongst COVID-19 ultimately. The first technique, that is prediction model relying on historical data, can more or less generate expected incoming volume of individuals, but it only seems to be effective when there are festivals or student holidays. In our view, a prediction model should be ready to accurately determine passenger flow regardless of time period. Secondly, building a new platform with a purpose of easing transferring passage does mitigate the situation at the station and safety

measures substantially. However, connecting routes to the new platform may get crowded, leading to even more intensive congestions. Thus, authors introducing the second method have recommended the next means themselves. The third and perspective process embraces a concurrent interaction between timetable rescheduling of a rail track and passenger routing. This method surpasses two mentioned ones and the one to be discussed in a way that it puts an emphasis on a case of complete blockage. As a matter of fact, the ILP model offers alteration in conventional timetable of trains because there are circumstances when passenger flow is higher than departing train's capacity. Therefore, the model except from railway timetable rescheduling, takes into consideration holding capacity of boat trains. Lastly, how passenger flow has been affected during COVID-19 was examined. The main issue of serving passenger during the pandemic were leaving procedure from stations and preparation of passenger to sit apart enough for avoidance of disinfection. In spite of the fact that there were no major incidents in traveler maintenance on station complexes, it is still critical to be prepared to have a station complex work in risky circumstances such as COVID-19 widespread. In this master's thesis, the techniques to handle and estimate passenger flow have been regarded, but actions have to be made during malfunction of trains has not been reviewed. This, in our opinion, should be investigated thoroughly because the above-suggested methods are expected to operate in uninterrupted situations. Furthermore, the assumptions and simplifications of the model should be examined using several statistical tests to establish a more realistic simulation model. Ultimately, during the morning peak and rush hours, staff can be added to guide passengers to operate the related equipment in the station hall to speed up ticket purchases, security inspection, and entry.

Author contribution:

Muratbekov B.N. – concept, methodology, resources.

Vakhitova L. – modeling, analysis, visualization, interpretation.

Muratbekova G. – data collection, testing.

Aimanbetov N. – drafting, editing, funding, acquisition.

References

1. Jing, Z. and Yin, X. (2020) "Neural network-based prediction model for passenger flow in a large passenger station: An exploratory study," *IEEE Access*, 8, pp. 36876–36884. Available at: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2972130>.
2. Pu, S. and Zhan, S. (2021) "Two-stage robust railway line-planning approach with passenger demand uncertainty," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 152, p. 102372. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102372>.
3. Ahn, Y. et al. (2017) "Estimation of passenger flow for planning and management of railway stations," *Transportation Research Procedia*, 25, pp. 315–330. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.408>.

4. Zhan, S. et al. (2021) "Integrated Railway timetable rescheduling and dynamic passenger routing during a complete blockage," *Transportation Research Part B: Methodological*, 143, pp. 86–123. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2020.11.006>.

5. Sidorchuk, R. et al. (2020) "Influence of passenger flow at the station entrances on passenger satisfaction amid covid-19," *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(4), p. 150. Available at: <https://doi.org/10.3390/joitmc6040150>.

6. Dedík, M., Čechovič, L. and Gašparík, J. (2020) 'Methodical process for innovative management of the Sustainable Railway Passenger Transport', *Transportation Research Procedia*, 44, pp. 305–312. doi:10.1016/j.trpro.2020.02.038.

7. Polinder, G.-J., Schmidt, M. and Huisman, D. (2021) 'Timetabling for strategic passenger railway planning', *Transportation Research Part B: Methodological*, 146, pp. 111–135. doi:10.1016/j.trb.2021.02.006.

8. König, E. and Schön, C. (2021) 'Railway Delay Management with passenger rerouting considering train capacity constraints', *European Journal of Operational Research*, 288(2), pp. 450–465. doi:10.1016/j.ejor.2020.05.055.

Б.Н. Мұратбеков¹, Л.В. Вахитова², Г.В. Муратбекова³, Н.А. Айманбетов⁴

^{1,2}Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

³Азаматтық Авиация Академиясы, Алматы, Қазақстан

⁴С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

Вокзал кешенінде жолаушылар ағынын ұйымдастыру

Андатпа. Мақалада авторлар қазіргі жағдайда вокзал кешеніндегі жолаушылар ағынын оңтайландыру мәселесін қарастырады. Қытай, Жапония және Ресейден келген шетелдік ғалымдардың тәжірибесі мен ғылыми зерттеулері назарға алынады. Мақалада жолаушылар ағынын ұйымдастырудың төрт түрлі әдісін қолдану арқылы оңтайландыру мәселесі талданған. Бақылаулар негізінде ең өзекті және белсенді әдіс пойыздардың қозғалыс кестесін кешенді өзгерту және абсолютті оқшауланған жолаушыларды динамикалық бағыттау болып табылатыны анықталды. Болжалды модель, өз кезегінде, тексерілетін ақпаратқа байланысты, адамдар санының күтілетін мөлшерін азды-көпті қамтамасыз ете алды. Бұл мерекелер немесе шағын іс-шаралар өткізілген кезде сенімді болып көрінді. Тасымалдау торабын жеңілдету мақсатында заманауи алаң құрылысы станция аумағындағы қауіпсіздік шараларын едәуір жеңілдететінін байқатты. COVID-19 пандемиясы кезінде жолаушыларға қызмет көрсетуде туындаған қиындық станциялардан шығу стратегиясы мен тазалықты сақтау және саяхатшылардың белгілі бір қашықтықта оқшаулануын ұйымдастыру болды. Алайда жолаушылар ағынын реттеу мен айналаның тазалығын қадағалау іске асырылғанымен, пойыздар тоқтаған кезде атқарылуы тиіс әрекеттер қарастырылмайды.

Түйін сөздер: жолаушылар ағыны, болжау моделі, интеграцияланған кестені өзгерту, жолаушыларды бағыттау, COVID-19.

Б.Н. Муратбеков¹, Л.В. Вахитова², Г.В. Муратбекова³, Н.А. Айманбетов⁴

^{1,2}*Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан*

³*Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан*

⁴*Казахский агротехнический исследовательский университет
имени С.Сейфуллина, Астана, Казахстан*

Организация пассажиропотока в вокзальном комплексе

Аннотация. В данной статье авторы рассматривают проблему оптимизации пассажиропотока в вокзальном комплексе в современных условиях. Был изучен опыт и научные исследования зарубежных ученых из Китая, Японии и России. В этой статье рассматривается оптимизация с использованием четырех различных методов организации пассажиропотока. На основании наблюдений было установлено, что наиболее перспективным и работающим методом является комплексное изменение графика движения поездов и динамическое направление пассажиров с абсолютной блокировкой. Прогнозная модель, в свою очередь, может обеспечить более или менее ожидаемое приближение количества людей, в зависимости от проверяемой информации, но она кажется надежной, когда проводятся праздники или небольшие мероприятия. Учитывая, что строительство современной сцены с целью облегчения пересадочного узла значительно упростит среду станции и меры безопасности. Наконец, самой большой проблемой обслуживания путешественников во время пандемии COVID-19 была стратегия выхода со станций и организация, чтобы путешественники сидели отдельно на определенном расстоянии, чтобы избежать уборки. В предложении этого мастера рассматривались процедуры обработки и измерения пассажиропотока, но не рассматривались действия, которые необходимо было предпринять при остановке поездов.

Ключевые слова: пассажиропоток, модель прогнозирования, изменение интегрированного расписания, маршрутизация пассажиров, COVID-19.

References

1. Czin, Z. i In', H. (2020) "Model' prognozirovaniya passazhiropotoka na krupnoj passazhirskoj stancii na osnove nejronnyh setej: predvaritel'noe issledovanie", IEEE Access, 8, str. 36876-36884. Dostupno po adresu: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2972130>.
2. Pu, S. i CHzhan, S. (2021) "Dvuhetapnyj nadezhnyj podhod k planirovaniyu zheleznodorozhnyh linij s uchetom neopredelennosti sprosa passazhirov", Issledovanie transporta, chast' E: Obzor logistiki i transporta, 152, str. 102372. Dostupno po adresu: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102372>.
3. An, YU. i dr. (2017) "Ocenka passazhiropotoka dlya planirovaniya i upravleniya zheleznodorozhnyimi stanciyami", Transportation Research Procedia, 25, str. 315-330. Dostupno po adresu: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.408>.
4. CHzhan, S. i dr. (2021) "Integrirovannoe izmenenie raspisaniya dvizheniya poezdov i dinamicheskij marshrut dvizheniya passazhirov vo vremya polnoj blokirovki", Issledovanie transporta, chast' V: metodologiya, 143, str. 86-123. Dostupno po adresu: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2020.11.006>.

5. Sidorchuk R. i dr. (2020) "Vliyanie passazhiropotoka u vkhodov na stancii na udovletvorennost' passazhirov v usloviyah covid-19", Zhurnal otkrytyh innovacij: tekhnologii, rynek i slozhnost', 6 (4), str. 150. Dostupno po adresu: <https://doi.org/10.3390/joitmc6040150>.

Information about authors:

Muratbekov B.N. – 2nd year master's student, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan.

Vahitova L.V. – candidate of technical sciences, docent, professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan.

Muratbekova G.V. – candidate of technical sciences, docent, professor, Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan

Aimanbetov N.A. – PhD student, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan

Мұратбеков М.Н. – 2 курс магистранты, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

Вахитова Л.В. – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

Муратбекова Г.В. – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан

Айманбетов Н.А. – докторант, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

Муратбеков Б.Н. – магистрант, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан.

Вахитова Л.В. – кандидат технических наук, доцент, Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан.

Муратбекова Г.В. – кандидат технических наук, доцент, профессор, Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан.

Айманбетов Н.А. – докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, Астана, Казахстан.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



SRSTI 55.21.99

Research paper

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-114-131>

Macrostructure of hardened chisel opener with silicon-manganese-chromium based cladding

D.Sh. Kossatbekova*¹, S.O. Nukeshev², N.N. Romanyuk³

^{1,2}S. Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Astana, Kazakhstan

³Belarus State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus

(E-mail:¹ms.kossatbekova@mail.ru, ²snukeshev@mail.ru, ³romanyuk-nik@tut.by)

Abstract. The relevance of this study lies in the fact that the wear of the working bodies of seeding machines leads to increased fuel consumption, deterioration of the quality of seed placement, and reduced yields. In this regard, this article is aimed at studying the condition of hardened working parts of the experimental grain-fertilizer-grass seeder. Based on the results of information search, the following hardening methods were adopted: electric arc cladding with hard-alloy electrodes and sormite; heating of the chisels by HFC quenching. Samples of experimental chisels of coulter chisels of a grain and grass seeder made of 65G steel were used for research. The state of worn surface layers of chisels was studied by ultrasonic flaw detector. Research has allowed to establish that among hardened samples the smallest equivalent area of wear has the sample, hardened full working surface by cladding with electrodes T590, and also according to the results of field experiments this sample had the greatest resistance to abrasive impact. On the basis of these results as the most rational method of chisel hardening for production conditions in agricultural enterprises it is recommended to replace the typical factory heat treatment with cladding of the full working part of chisel.

Key words: Macrostructural analysis, wear, hardened steel, heat treatment, ADC diagram, chisel opener, grain-fertilizer-grass seeder.

Received 30.11.2023. Revised 06.12.2023 Accepted 18.03.2024. Available online 29.03.2024

* the corresponding author

Introduction

A comparison of macrostructural and microstructural analysis reveals that the former is unable to determine all the features of the structure. However, this study can be subjected to the surface of the unbroken product, fractures, unetched macro sections or with the structure revealed by special reagents, to detect fracture, violation of the continuity of metal, dendritic structure of cast metal, chemical heterogeneity of cast metal and the presence of coarse inclusions, fiber structure of deformed metal, structural and chemical inhomogeneity of metal,

To control the quality of metal to detect internal defects without destroying the integrity of the product, ultrasonic, radiation, X-ray methods of defectoscopy are used, which allow not only to detect the presence of defects, but also to determine their shape and size.

Ultrasonic method allows you to detect small defects of the part, located very deep in the product can be using ultrasounds, reflecting sound waves from the defect located inside the metal. This method not only enables the identification of internal defects, but also their precise location.

The research paper [1] shows the possibility of macrostructural study to identify defects of various origins in metal products of parts with stress concentrators. The influence of each criterion on the properties of steel products, distinctive features of the macrostructure of metal products and an example of the implementation of the results of macrostructural study to improve the durability of parts HFC (high frequency current), surface hardened from heating are considered.

The macrostructural and mechanical properties of rails clad by automatic gas-flame treatment were studied [2] and concluded that the treated rail had a higher hardness value (313.6 BHN) compared to the untreated rail (276.7 BHN). The same was confirmed by micro structural observations: there is a better arrangement of the crystal structure.

Nevertheless, the above mentioned works consider other spheres of mechanical engineering, and macrostructural analysis of agricultural machinery working bodies was not taken into account.

Having considered the processes of wear and repair of working bodies of agricultural machinery and equipment for forage production (plowshare, cultivator tine, disks of openers and markers of seeders, harrows, blades of silage combines, forage choppers, etc.), those parts that have a blade (cutting working surface) it is established that most of these parts are made of alloy steels (53C – casted steel, 60Mn, 65Mn, 70Mn, etc.). The cost of such steels is high and therefore metal losses should be minimized both in operation and during repair of worn parts.

It is possible to control the most important output parameters of the technological process by setting the properties of the surface layer of parts, thereby improving the quality of the surface layer of manufactured (restored) parts. Increasing the reliability of the technological process can be ensured to a certain extent by introducing special types of processing that increase wear resistance and fatigue resistance. For these purposes, technological processes that harden the surface layer and give it special properties are used.

The application of hardening technologies contributes to the creation of a reliability margin of the technological process of restoration, as higher performance properties of the restored parts

of agricultural machinery are ensured. In this regard, the developments related to hardening by vibration deformation method are of special interest.

In the works [3-22], on the basis of laboratory and field studies of working bodies of seeders and other tillage machines, the degree of wear of protective surface layers of chisel openers, hardened by different methods depending on metal properties, modes of operation, mechanical properties of soil, etc., was revealed. At the same time the state of worn surfaces was not studied for the presence of defects in them (presence of porosity and micro cracks of clad layers, their delamination, unsatisfactory roughness, corrosion sites, etc.), the rational method of surface hardening of seeder working bodies was not substantiated.

The aim of the research is to increase the wear resistance of anchor chisel openers of grain-fertilizer-grass seeders by substantiating the rational method of their surface hardening.

The investigations were carried out within the framework of the project AP05134800 "Development of automated grain-fertilizer-grass seeder for differentiated direct sowing of crops under cover crops and in turf with simultaneous application of mineral fertilizers".

Hardened samples, macrostructural studies were carried out on the basis of laboratories of the department of "Technological machines and equipment" at S.Seifullin KATRU.

Methodology

For the research samples of chisel openers of grain-fertilizer-grass seeders were used [23, 24], which was made of the most used for fast-wearing working organs structural spring steel 65Mn, which in comparison with other steels allows to get less rough surface at hot processing, less prone to decarburization. Steel 65Mn has increased strength, toughness and resistance to wear, high resistance to small plastic deformations and relaxation resistance, has a fairly high harden ability, relatively low cost [25].

Typical (factory) method of chisel heat treatment is realized by means of their volume hardening (temperature in the range of 800 - 830°C) in oil hardening medium and tempering (at temperature in the range of 300 - 350°C) in air.

Based on the results of information search and possibility of further realization of chisel opener hardening technologies at production in agricultural enterprises of Kazakhstan the following methods of wear resistance increase were adopted: electric arc surfacing with hard-alloying electrodes T590 (Mn 1,0-1,5%, Si 2,0-2,5%, C 2,9-3,5%, P ≤ 0,04, S ≤ 0,035, Cr22,0- 27,0, B 0,5-1,5) and CS-1 (Sormite №1) with diameter 5,0 mm; HFC-heating of chisels for hardening.

Heat treatment of commercially manufactured chisels was carried out in an electric furnace chamber laboratory model SNOL 12/12-V, cladding on the working surfaces of experimental chisel samples was carried out by inverter welding power source model Flextec 500P.

HFC-hardening of chisel opener samples was carried out at temperatures within 800 - 820°C (Figure 1) in hardening medium - in oil, surfacing process with electrodes T590 and CS-1 (Sormite №1) was carried out on optimal modes (23): surfacing current $I = 250 - 300$ A (constant reverse polarity), voltage $U = 50 - 70$ V.

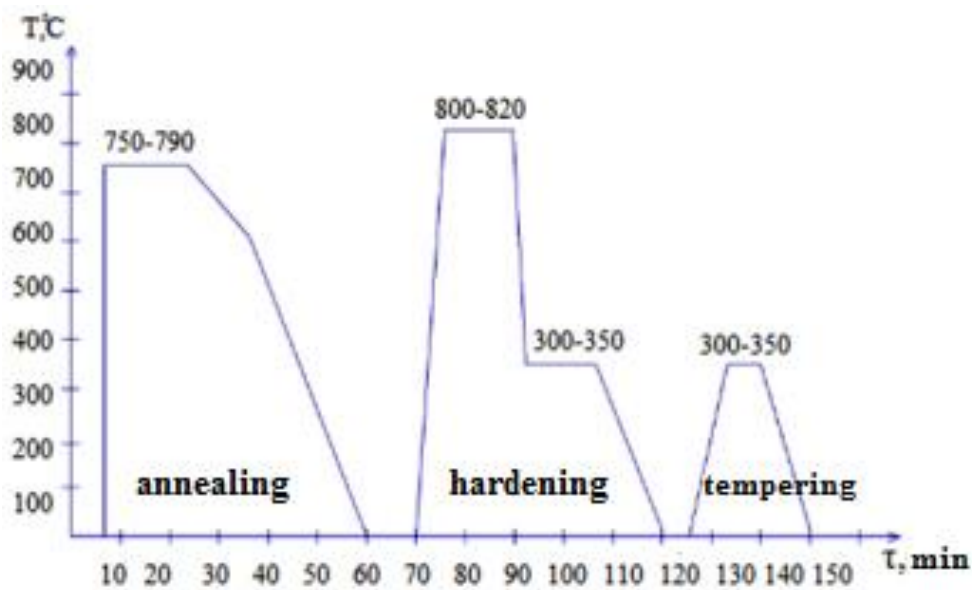


Figure 1. Proposed mode of heat treatment of spring steel 65Mn

Macrostructural analysis

During the macrostructural analysis by ultrasonic flaw detector ultrasonic pulse reflected from the defect and from the bottom is amplified and registered on the screen of the indicator. The indicator in the flaw detector is an electron-beam tube, on the screen of which, with the help of a special deployment device, there is a time diagram corresponding to the propagation of the ultrasonic pulse in the metal. Horizontal lines on the screen represent the time axis. Sending an ultrasonic pulse into the investigated metal is made periodically, the ultrasound propagates in this metal at a constant speed:

$$g = \frac{S}{T} \quad (1)$$

where g – velocity sound,
 S – distance,
 T – time.

A defect located inside the metal can be detected by the pulse burst registered on the screen, where the distance between the initial pulse and the pulse reflected from the defect corresponds to the defect depth



a) Experimental opener-splitter



b) Seeder before sowing

Figure 2. Experimental grain-fertilizer-grass seeder

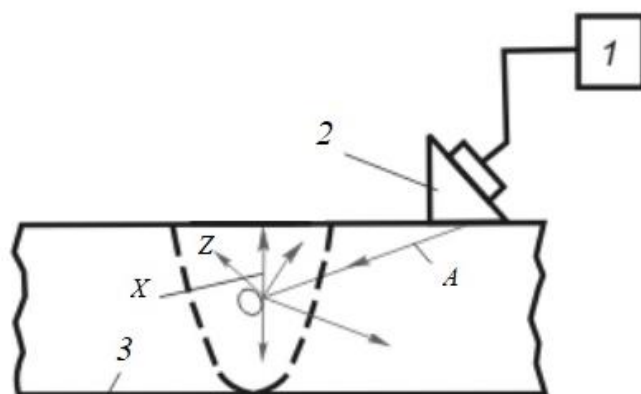
Field tests of serially manufactured and hardened samples of anchor chisel openers (Figure 2) were conducted in the spring sowing campaign of 2019 in soil and climatic conditions of Akmola region of Kazakhstan on ordinary chernozemic soil (moisture 25 - 45 %, soil contamination with stones with an average diameter of 50 mm was 0.6 - 1.5 pcs/m²) at seeding of sown vetch (spring), creeping clover and alfalfa on a machine-tractor unit consisting of a wheeled tractor of traction class 2 + grain-fertilizer-grass seeder [26].



a) the process of measuring the working surface of the sample by the flaw detector sensor



b) Ultrasonic flaw detector model A1212 MASTER



c) working principle of the device: 1 – electronic unit of the flaw detector;
2 – piezoelectric transducer; 3 – controlled object

Figure 3. Ultrasonic flaw detector for examination of worn surfaces of chisel openers

The condition of worn surface layers of chisel openers for the presence of defects (microcracks in hardened surfaces, porosity, continuity and internal delamination of clad layers, corrosion centers) was studied by ultrasonic flaw detector model A1212 MASTER. The device allowed to implement standard and specialized methods of ultrasonic inspection, high productivity and accuracy of measurements.

The presence of elastic properties in a medium ensures the appearance of elastic waves in it. In a solid, displacements in a layer will cause stresses in neighboring layers. These stresses will cause displacements in neighboring layers, resulting in transverse waves [27, p.25].

Mathematically, the motion of a body under the action of a force is described by Newton's second law. When analyzing a continuous medium, all quantities are referred to the unit volume and the force F is defined by the tensor stress σ .

In field theory, Helmholtz's theorem, which states that any continuous vector field \vec{u} can be represented as a sum of potential (linear) u_l and vortex (tangential) u_t fields.

$$\vec{u} = \vec{u}_l + \vec{u}_t \quad (2)$$

Acoustic emission appears at plastic deformation, at the emergence and at the formation of cracks. Acoustic emission signals propagating to the sample surface (28, p.111).

When examining defects after field experiments on the ultrasonic flaw detector, we consider the defect as a derivative of the area S_b and obtain a ratio for the coefficient determining the reflectivity of the defect

$$K = R \cdot S_b \quad (3)$$

where $R \approx 1$ – wave reflection coefficient at the steel-air interface;

S_b – defect area

Natural defects can have a wide variety of shape, size, orientation and acoustic properties.

The amplitudes of echo-signals from defects differ little if the size of defects is larger than the ultrasound wavelength [28, p.113-115].

Findings and Discussion

The values of physical characteristics for 65Mn steel (Table 1) were implemented in the ultrasonic flaw detector to obtain the results of ADC diagrams. From the given data, the velocity of 3250 m/s, gain of 40 dB, step gain of 1dB and chisel thickness of 11 mm were assumed.

Table 1.

Values of physical characteristics for steel 65Mn

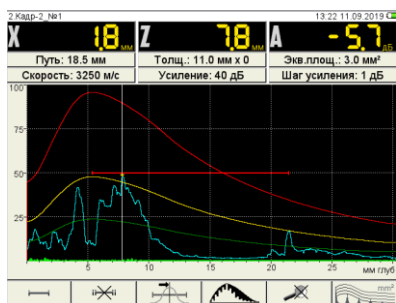
Modulus of elasticity E (mN/m ²)·10 ³	density ρ (kg/m ³) 10 ⁻³	Poisson's ratio σ	Sound velocity (m/s)		Specific wave resistance (kg(m ² ·s))·10 ⁻⁶
			C _l	C _t	
12.8÷20.15	7.8÷7.9	0.28÷0.35	5320÷5850	2950÷3250	40÷45

ADC diagrams are usually constructed from a reference calibration of a known feature, such as a bottom reflector or flat-bottom hole at a given depth. Using this calibration point, the entire curve can be plotted, taking into account PET characteristics and material properties (Table 1). Instead of displaying the entire series of curves, the instrument typically displays a single curve based on the size of the selected reflector (detectable limit). In Figure 4, the upper curve (red) represents the ADC plot for a 2 mm disk reflector at a depth of 50 to 100 mm. The lower curve (yellow) is a reference curve plotted at amplitude (A) from 0.4 to 6.9 dB below. On the screen, the red strobe indicates the reflection from the flat-bottom hole at a depth of 11 mm. Based on the height and depth of the reflector in relation to the curve, the instrument calculated the equivalent area (lower blue and green curves) of the worn surface.

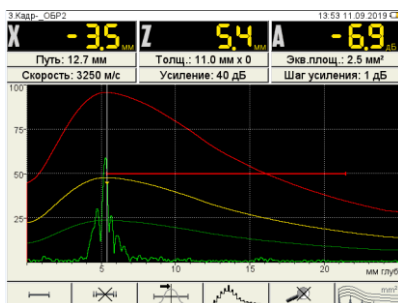
The ADC-diagram shows (Fig.4, a) that when probing the area at coordinates X=1.8 mm the signal is caught by the direct beam. This is evidenced by the "digit 0" after the multiplication sign in the box with the thickness of the object. The amplitude of the signal is 5.7 dB below the rejection level and the equivalent area is 3.0 mm². The reflection is obtained at a depth of 7.8mm.

The same measurements were made with samples №2-9. The results of ultrasonic flaw detector examination of worn surfaces of experimental samples of coulter chisels are given in Table 2.

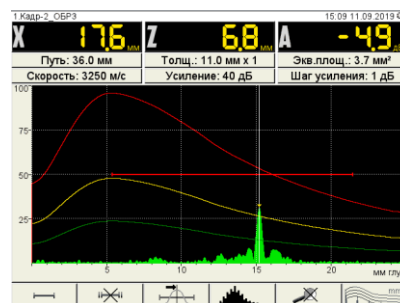
According to the data of frames from Figure 4 and Table 2, obtained as a result of ultrasonic flaw detector it can be noted that among the experimental samples the highest value of the equivalent area of defect (wear) were at the samples of commercially manufactured chisels (№4, №5, №7, №8 и №9) with the same parameters according to the factory technology. And the sample with hardened full working surface by surfacing with T590 electrode (Figure 4,b) has the smallest equivalent wear area.



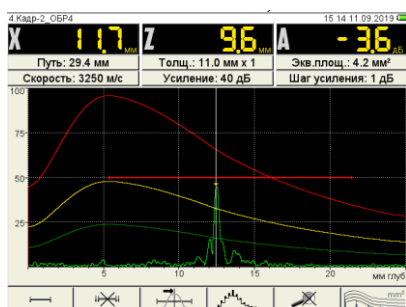
a) sample with hardened working surface by cladding with T590 electrode (front and back sides)



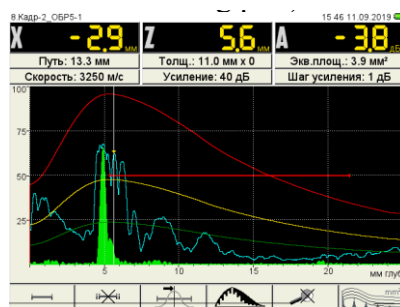
b) sample with hardened working surface by cladding with T590 electrode (full working part)



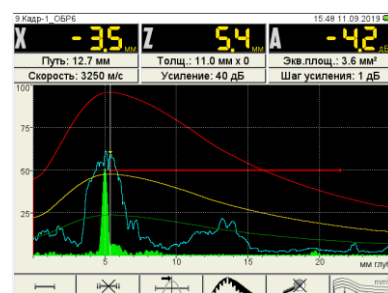
c) sample with hardened working surface by HFC hardening



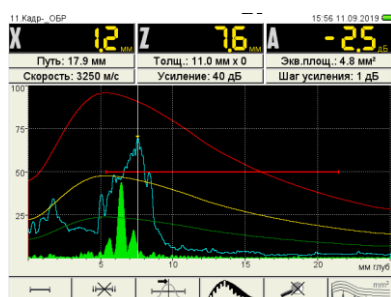
d) sample with thermally treated working surface according to factory technology



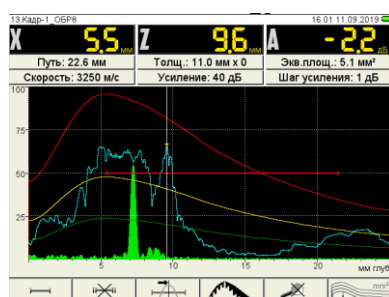
e) sample with thermally treated working surface according to factory technology



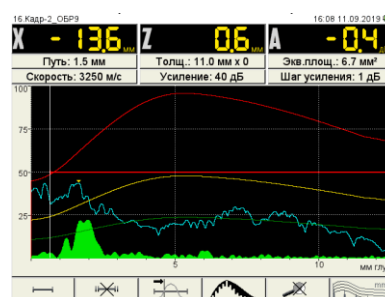
f) sample with hardened working surface by cladding with CS-1 electrode (sormite No.1)



g) sample with thermally treated working surface according to factory technology



h) sample with thermally treated working surface according to factory technology



i) sample with thermally treated working surface according to factory technology

Figure 4. Cadres from ADC diagrams of ultrasonic flaw detector of worn surfaces of grain-fertilizer-grass seeder chisel openers

Table 2

Results of investigation of worn surfaces of 11mm thick chisel openers

Sample number	Repetition of experiment	Material	Coordinates of defect parameters			Path, mm	Eq. area, mm ²	Average arithm. eq. area, mm ²
			X, mm	Z, mm	A, dB			
1	1	Steel 65Mn+T590 (front and back side)	1.8	7.8	-5.7	18.5	3	3.25
	2		-3.3	5.5	-4.4	12.9	3.5	
2	1	Steel 65Mn +T590 (full working part)	-3.5	5.4	-6.9	12.7	2.5	2.85
	2		-2.1	6	-5.1	14.2	3.2	
3	1	Steel 65Mn (HFC-quenching)	17.6	6.8	-4.9	36	3.7	3.3
	2		-3.5	5.4	-8.8	12.7	2.9	
4	1	Steel 65Mn (factory technology)	10.9	9.9	-6.6	28.6	3.8	4.0
	2		11.7	9.6	-3.6	29.4	4.2	
5	1	Steel 65Mn (factory technology)	0.2	7.1	-5.6	16.8	3.8	3.85
	2		-2.9	5.6	-3.8	13.3	3.9	
6	1	Steel 65Mn +CS-1 (sormite №1)	-3.5	5.4	-4.2	12.7	3.6	3.55
	2		-3.5	5.4	-4.5	12.7	3.5	
7	1	Steel 65Mn (factory technology)	1.2	7.6	-2.5	17.9	4.8	4.8
	2		3.1	8.4	-0.8	17.9	4.8	
8	1	Steel 65Mn (factory technology)	5.5	9.6	-2.2	22.6	5.1	4.6
	2		-1.3	6.4	-3.5	15.1	4.1	
9	1	Steel 65Mn (factory technology)	-1.7	6.2	-11.1	14.7	3.5	4.1
	2		-13.6	0.6	-0.4	1.5	6.7	

In addition, at sample 1, hardened only by the front and back side of the surfacing electrode of T590 brand (Figure 4, a) and the sample with the working surface hardened by the surfacing electrode of CS-1 brand (Sormite №1) the equivalent area of wear were smaller in comparison with the samples with the working surface hardened by HFC hardening and mass-produced according to the factory technology.

In Figure 5, on the front surface of the chisels, samples d, e, and i are left with small dents and chips in the form of grooves and holes when exposed to hard particles, and cutting marks and rounded chamfer from mineral substances with sharp edges in samples c, f, g, h. Samples a and b are less susceptible to abrasive wear.

As a result, it can be noted from Table 2 and Figures 4 and 5 that the data of sample №2 is abrasion resistant due to hardening of the full working surface by surfacing with T590 grade electrode.



a) sample with hardened working surface by cladding with T590 electrode (front and back sides)



b) sample with hardened working surface by cladding with T590 electrode (full working part)



c) sample with hardened working surface by HFC hardening



d) sample with thermally treated working surface according to factory technology



e) sample with thermally treated working surface according to factory technology



f) sample with hardened working surface by cladding with CS-1 electrode (sormite No.1)



g) sample with thermally treated working surface according to factory technology



h) sample with thermally treated working surface according to factory technology



i) sample with thermally treated working surface according to factory technology

Figure 5. Photos of worn surfaces of grain-fertilizer-grass seeder chisel opener hardened by different methods

Conclusion

Analyzing the photos of worn surfaces of chisel opener, data from Tables 1-2, Figures 1 and 2, and information on the method of hardening and materials used, the following conclusions can be drawn:

1. The condition of worn surface layers of chisel opener for defects in them can be studied using an ultrasonic flaw detector.

2. According to the results of ADC-diagrams obtained by ultrasonic flaw detector it is established that the equivalent wear area of hardened samples is less in comparison with serially manufactured (factory technology) samples.

3 Among the hardened samples, the sample hardened with the full working surface with T590 electrode cladding has the smallest equivalent wear area, and also according to the results of field experiments, this sample had the highest resistance to abrasive impact.

4 According to the results of field experiments, the samples serially manufactured by the factory technology, hardened with Sormite and HFC quenching on the front surface of the chisel had small indentations and chips in the form of grooves and holes when exposed to hard particles, as well as cutting marks and rounded chamfer from minerals with sharp edges.

5. As the most rational method of chisel hardening for the conditions of production and agricultural enterprises it is possible to recommend replacement of typical factory heat treatment by surfacing of the full working part of working bodies of seeder opener with T590 electrodes.

Acknowledgements, conflict of interest

The authors express their gratitude to the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan for financing the research work. The research was carried out under the project AP05134800 "Development of automated grain-fertilizer-grass seeder for differentiated direct sowing of crops under cover crops and in turf with simultaneous application of mineral fertilizers".

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

Authors' contribution:

Dinara Kossatbekova has collected of literature data and then done analysis and synthesis of them. She carried out macrostructural study, conducted an analysis and systematization of experimental data, and tracked the reproducibility of the results. Dinara conducted comparative analysis, summarizing the results of the study, formulation of conclusions, and interpreting the results of the study. She wrote and organized the text of the manuscript.

Sayakhat Nukeshev has justified the research concept with formulation of the idea, research goals and objectives and created the research model. He has revised critically and edited the manuscript text, including stages before or after publication of the manuscript. Professor Sayakhat did analysis, systematization and accumulation of experimental data, both for initial and subsequent use.

Nikolay Romanyuk has justified of the research concept by formulation of the idea, research goals and objectives and developed of research methodology. He did analysis, systematization and accumulation of experimental data, both for initial and subsequent use.

References

1. Purtova E.V., Astashchenko V.I. On the role of macrostructural analysis in estimation of the quality of surface-hardened parts with stress concentrators. *Steel in Translation*. -2023.- №53.- P.423–427.
2. Wirawan W.A., Wahjono H.B., Rachman F.R.N.F., Rhamadhani A. Macrostructural and mechanical properties of rails cladded by automatic flame treatment. *AIP Conference Proceedings*.-2023.- 2689 (1).
3. Petuhov D.A. Innovacionnye proekty, novye tekhnologii i oborudovanie [Innovative projects, new technologies and equipment]. Petuhov D.A., CHaplygin M.E., NazarovA.N. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela [Machinery and equipment for rural areas]*.- 2013.-№ 4.- S. 10–14,.
4. El'cov V.V. Vosstanovlenie i uprochnenie detalej mashin [Restoration and hardening of machine parts]: elektron.ucheb. posobie [electronic textbook]. V.V. El'cov. Tol'yatti: Izd-voTGU.- 2015.-335 s. [in Russian]
5. CHabotare, M.I. Vybór optimal'nogo sposoba vosstanovleniya iznoshennoj poverhnosti detail [Selection of the optimal method of restoration of the worn surface of the part]: ucheb.posobie [textbook]. CHEbotarèv M.I., Kadyrov M.R.. Krasnodar: KubGAU.- 2016.- 91 s. [in Russian].
6. Vladutoiu L., Vladut V., Voiculescu I., Matache M., Radu O., Biris S., Voicea I., Paraschiv G., Atanasov A., Usenko M. Increasing agricultural machinery active parts durability by hardening. *Actual tasks on agricultural engineering*.-2015.- 43.- P.153-164.

7. Jankauskas V., Katinas E., Pusvaskis M., Leisys R. A Study of the Durability of Hardened Plough Point. *Journal of friction and wear*.- 2020.- №41.- P.78-84, <https://doi.org/10.3103/S1068366620010171>
8. Wang F.L., Tao Q., Xiao L.Q., Hu J.H., Xu L.L. Simulation and analysis of serrated chip formation in cutting process of hardened steel considering ploughing-effect. *Journal of mechanical science and technology*.- 2018.- №32 (5).-P.2029-2037, <https://doi.org/10.1007/s12206-018-0411-6>
9. Roy S., Sundararajan S. The effect of heat treatment routes on the retained austenite and Tribomechanical properties of carburized AISI 8620 steel. *Surface & coatings technology*.- 2016.- №308.- P.236-243, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.06.095>
10. Vladut V., Marin E., Grigore I., St Biris S., Ungureanu N., Gheorghe G., Matache M., Persu C., Voicea I., Cujbescu D., Bungescu S., Kiss I., Vlad C. Field and laboratory wear testing of integral seedbed implement's chisel tines point. actual tasks on agricultural engineering.- 2017.- №45.-P.131-140.
11. Refaai M., Hamid Z.A., El-kilani R.M., Nasr G.E.M. () Reducing The wear and corrosion of the agricultural machinery by electro deposition nano composite coatings– Review. *Egyptian journal of chemistry*.- 2020.- №63(8).- P.3075-3096, <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2020.28677.2615>
12. Zhang J.W., Zhu L., Chen P., Wu Q.M., Wei M., Yin C.L., Li G.L. Flowing interaction between cutting edge of plough breast with soil in shifting tillage operations. *Engineering applications of computational fluid mechanics*.- 2020.- №14 (1).- P.1404-1415,<https://doi.org/10.1080/19942060.2020.1835734>
13. Napiorkowski J., Lemecha M., Konat L. forecasting the wear of operating parts in an abrasive soil mass using the holm-archard model. *Materials*. - 2019.- №12(13).- 2180, <https://doi.org/10.3390/ma12132180>
14. Malvajerdi S.S., Malvajerdi A.S., Ghanaatshoar M. Protection of CK45 carbon steel tillage tools using TiN coating deposited by an arc-PVD method. *Ceramics international*.-2019.-№45(3).-P.3816-3822, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.11.051>
15. Novikov A.E.; Motorin V.A., Lamskova M.I., Filimonov M.I. Composition and tribological properties of hardened cutting blades of tillage machines under abrasive deterioration. *Journal of friction and wear*.- №39(2).- P.158-163.- 2018, <https://doi.org/10.3103/S1068366618020137>
16. Stawicki T., Bialobrzaska B., Kostencki P. Tribological properties of plough shares made of pearlitic and martensitic steels. *Metals*.-2017.- №7(4).- 139, <https://doi.org/10.3390/met7040139>
17. Yazici A., Cavdar U. A study of soil tillage tools from boronized sintered iron. *Metal science and heat treatment*.-2017.- №58 (11-12).- P.753-757, <https://doi.org/10.1007/s11041-017-0091-3>
18. Ishkov A.V., Krivochurov N.T., Mishutsin N.M., Ivanajskij V.V., Maksimov A.A. Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na iznos poverhnostno-uprochnennykh strel'chatykh lap [Influence of technological factors on the wear of surface-hardened lancet tines]. *Tekhnologii i sredstva mekhanizacii sel'skogohozyajstva* [Technologies and means of mechanization of agriculture]. *Vestnik AGAU* [Bulletin of AGAU].-2010.-№10.-s.92-96.
19. Lyalyakin V.P., Aulov V.F., Ishkov A.V., Krivochurov N.T., Ivanajskij V.V., Sokolov A.V., Koval' D.V., Drejer H., SHvamm V. Iznos dolot ankernykh soshnikov seyalki Primera DMC-9000, uprochnennykh kombinirovannymi pokrytiyami, v usloviyah Altajskogo kraja [Wear of chisels of anchor coulters of Primera DMC-9000 seed drill, hardened by combined coatings, in conditions of Altai region]. *Tekhnologii*

i sredstva mekhanizacii sel'skogo hozyajstva [Technologies and means of mechanization of agriculture] // Vestnik AGAU [Bulletin of AGAU].- 2014.-№ 12.- s.124-132.

20. Bartenov I.M., Pozdnyakov E.V. Iznashivayushchaya sposobnost' pochviee vliyaniye na dolgovechnost' rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin [Soil wearing capacity and its influence on the durability of working bodies of tillage machines]. Mashiny i oborudovaniye [Machines and equipment]. Lesotekhnicheskij zhurnal [Forest Engineering Journal].- 2013.-№ 3.- s.114-123.

21. Ahmetshin T.F. Povyscheniye dolgovechnosti pochvoobrabatyvayushchih rabochih organov, peremeshchayushchihsya v abrazivnoj pochvennoj srede [Increase of durability of soil-tilling working bodies moving in abrasive soil environment]. Vestnik Bashkirskij GAU [Bulletin of Bashkir SAU].- 2013.-№4 (28).- s.76-80.

22. Salynskih V.M., SHCHerbakova E.E., Aref'eva L.P. Uluchsheniye mekhanicheskikh svoystv pruzhiniz stali 65G izotermicheskoy zakalkoj [Improvement of mechanical properties of springs from steel 65G by isothermal hardening]. Molodoy issledovatel' Dona [Young researcher of Don].- 2018.-№ 2(11).- s.77-80.

23. Nukeshev S.O., Eskhozhin D.Z., Kossatbekova D.SH. Obosnovaniye tekhnologii i konstruktivno-tekhnologicheskoy skhemy zernotukotravyanoj seyalki [Justification of technology and constructive-technological scheme of grain and grass planter]. Bajkalskij Vestnik DAAD [Baikal Bulletin DAAD]. Irkutskij gosudarstvennyj universitet imeni A.A. Ezhevskogo [Irkutsk State University named after A.A. Ezevsky].- 2018.-№1.- s.88-92.

24. Nukeshev S.O., Eskhozhin D.Z., Ahmetov E.S., Tleumbetov K.M., Kossatbekova D.SH. Rabochij organ zernotukotravyanojseyalki [Working organ of grain-fertilizer-grass seeder]. Issledovaniye, rezul'taty [Research, results]. ISSN 2304-3334.- 2020.-№ 2 (86).- s.327-337.

25. Nukeshev S.O., Eskhozhin D.Z., Romanyuk N.N., Ahmetov E.S., Tleumbetov K.M., Saktaganov B.ZH., Kossatbekova D.SH. Tekhnologicheskije i tekhnicheskije resheniya problem vneseniya osnovnoj dozy mineral'nyh udobrenij v sisteme tochnogozemledeliya v usloviyah severnogo Kazakhstana [Technological and technical solutions to the problem of applying the main dose of mineral fertilizers in the system of precision agriculture in the conditions of northern Kazakhstan]. Novosti nauki Kazakhstana [News of Science of Kazakhstan], MRNTI [SRSTI] 68.85.29, 55.57.33.- 2020.-№1 (143).- 176-187.

26. Nukeshev, S., Yeskhozhin, K., Akhmetov, Y., Kossatbekova, D., Tleumbetov, K., Tanbayev, K. Traction force investigation of the new working body of the sod seeder. International Journal of Technology (IJTech).-2023.- №14(3).- P. 536-548, <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i3.6008>

27. Zacepin A. F., Biryukov D. YU. Fizicheskie metody kontrolya i diagnostiki ob'ektov infrastruktury [Physical methods of control and diagnostics of infrastructure objects]. Ekaterinburg UrGUPS, 2016.- 45s. [in Russian].

28. Kapranov B.I., Korotkov M.M. Akusticheskie metody kontrolya i diagnostiki [Acoustic methods of control and diagnostics]. [Izdatel'stvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Tomsk Polytechnic University Publishing House]. Uchebnoe posobie, chast' 1 [Textbook, Part1].- 2008.- 186 s. [in Russian].

Д.Ш. Косатбекова*¹, С.О.Нукешев², Н.Н.Романюк³

^{1,2}*Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина,
Астана, Казахстан*

³*Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь*

Макроструктурный анализ упрочненного долота с помощью наплавки на основе кремний-марганец-хрома

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена тем, что износ рабочих органов посевных машин приводит к увеличению расхода топлива, ухудшению качества заделки семян и, как следствие, снижению урожайности. В связи с этим, данная статья направлена на исследование состояния упрочненных рабочих органов экспериментальной зернотукотравяной сеялки. На основании результатов информационного поиска принимались следующие методы упрочнения: электродуговая наплавка твердосплавными электродами и сормайтотом; нагрев ТВЧ долот под закалку. Для проведения исследований использовались образцы экспериментальных долот сошников зернотукотравяной сеялки, изготовленные из стали 65Г. Состояние изношенных поверхностных слоев долот сошников изучалось ультразвуковым дефектоскопом. Исследования позволили установить, что среди упрочненных образцов наименьшую эквивалентную площадь износа имеет образец, упрочненный полной рабочей поверхностью с наплавкой электродами марки Т590, а также по результатам полевых экспериментов у данного образца была наибольшая стойкость к абразивному воздействию. На основании этих результатов в качестве наиболее рационального метода упрочнения долот для условий производства в сельскохозяйственных предприятиях рекомендуется замена типовой заводской термообработки на упрочненную полную рабочую часть.

Ключевые слова: макроструктурный анализ, износ, упрочненная сталь, термическая обработка, АРД диаграмма, долото сошника, зернотукотравяная сеялка.

Д.Ш. Косатбекова*¹, С.О. Нукешев², Н.Н. Романюк³

^{1,2}*С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан*

³*Белорусь мемлекеттік аграрлық техникалық университет, Минск, Беларусь*

Кремний-марганец-хром негізіндегі балқытумен нығайтылған қашауға макроқұрылымдық талдау

Аңдатпа. Зерттеудің өзектілігі егіс машиналарының жұмыс органдарының тозуы отын шығынының артуына, тұқым себу сапасының нашарлауына және нәтижесінде өнімділіктің төмендеуіне әкелетіндігіне байланысты. Осыған байланысты, бұл мақала тәжірибелік астық-тыңайтқыш-шөп сепкіштің қатайтылған жұмыс органдарының жағдайын зерттеуге бағытталған. Ақпараттық іздеу нәтижелерінің негізінде қатайтудың мынадай әдістері қабылданды: қатты қорытпалы электродтармен және сормайтпен электр доғалық балқыту; шынықтыру үшін ЖЖТ қашауды шынықтыру. Зерттеу жүргізу үшін 65Г болаттан жасалған

астық-тыңайтқыш-шөп сепкіштің эксперименттік қашауларының үлгілері пайдаланылды. Зерттеулер қатайтылған үлгілердің ішінде тозудың ең аз эквивалентті ауданында Т590 маркалы электродтармен балқытылған толық жұмыс бетімен қатайтылған үлгі бар екенін, сондай-ақ далалық эксперименттердің нәтижелері бойынша бұл үлгінің абразивті әсерге төзімділігі жоғары екенін анықтауға мүмкіндік берді. Осы нәтижелерге сүйене отырып, ауылшаруашылық кәсіпорындарындағы өндіріс жағдайлары үшін қашауды қатайтудың ең ұтымды әдісі ретінде типтік зауыттық термиялық өңдеуді толық жұмыс бөлігінің беті қатайтылғанға ауыстыру ұсынылады.

Түйін сөздер: макроқұрылымдық талдау, тозу, қатайтылған болат, термиялық өңдеу, ААД диаграммасы, сіңірушінің қашауы, астық-тыңайтқыш-шөп сепкіші.

Список литературы

1. Purtova E. V., Astashchenko V. I. On the role of macrostructural analysis in estimation of the quality of surface-hardened parts with stress concentrators. *Steel in Translation*.- 2023.-№53.- P.423–427.
2. Wirawan W.A., Wahjono H.B., Rachman F.R.N.F., Rhamadhani A. Macrostructural and mechanical properties of rails clad by automatic flame treatment. *AIP Conference Proceedings*.- 2023.-2689 (1).
3. Петухов Д.А. Инновационные проекты, новые технологии и оборудование. Д.А. Петухов М.Е. Чаплыгин, А.Н. Назаров. *Техника и оборудование для села*. -2013. - № 4. - С. 10–14.
4. Ельцов В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин: электронное учебное пособие. В.В. Ельцов. Тольятти: Изд-во ТГУ. - 2015. – 335 с.
5. Чеботарев М.И. Выбор оптимального способа восстановления изношенной поверхности детали: учеб. пособие. М.И. Чеботарев, М.Р. Кадыров. Краснодар: КубГАУ. - 2016. – 91 с.
6. Vladutoiu L., Vladut V., Voiculescu I., Matache M., Radu O., Biris S., Voicea I., Paraschiv G., Atanasov A., Usenko M. Increasing agricultural machinery active parts durability by hardening. *Actual tasks on agricultural engineering*.- 2015.-№43.- P.153-164.
7. Jankauskas V., Katinas E., Pusvaskis M., Leisys R. A Study of the Durability of Hardened Plough Point. *Journal of friction and wear*.-2020.- №41.-P.78-84, <https://doi.org/10.3103/S1068366620010171>
8. Wang F.L., Tao Q., Xiao L.Q., Hu J.H., Xu L.L. Simulation and analysis of serrated chip formation in cutting process of hardened steel considering ploughing-effect. *Journal of mechanical science and technology*.-2018.-№32 (5).- P. 2029-2037, <https://doi.org/10.1007/s12206-018-0411-6>
9. Roy S., Sundararajan S. The effect of heat treatment routes on the retained austenite and Tribomechanical properties of carburized AISI 8620 steel. *Surface & coatings technology*.-2016.-№308.-P.236-243, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.06.095>
10. Vladut V., Marin E., Grigore I., St Biris S., Ungureanu N., Gheorghe G., Matache M., Persu C., Voicea I., Cujbescu D., Bungescu S., Kiss I., Vlad C. Field and laboratory wear testing of integral seedbed implement's chisel tines point. *actual tasks on agricultural engineering*.-2017.-№45.-P.131-140.
11. Refaai M., Hamid Z.A., El-kilani R.M., Nasr G.E.M. () Reducing The wear and corrosion of the agricultural machinery by electrodeposition nano composite coatings– Review. *Egyptian journal of chemistry*.-2020.-№63(8).-P.3075-3096, <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2020.28677.2615>
12. Zhang J.W., Zhu L., Chen P., Wu Q.M., Wei M., Yin C.L., Li G.L. Flowing interaction between cutting edge of plough breast with soil in shifting tillage operations. *Engineering applications of computational fluid mechanics*.-2020.-№14(1).-P.1404-1415, <https://doi.org/10.1080/19942060.2020.1835734>

13. Napiorkowski J., Lemecha M., Konat L. forecasting the wear of operating parts in an abrasive soil mass using the holm-archard model. *Materials*.-2019.-№12(13).-2180, <https://doi.org/10.3390/ma12132180>
14. Malvajardi S.S., Malvajardi A.S., Ghanaatshoar M. Protection of CK45 carbon steel tillage tools using TiN coating deposited by an arc-PVD method. *Ceramics international*.- 2019.- №45(3).- P.3816-3822, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.11.051>
15. Novikov A.E.; Motorin V.A., Lamskova M.I., Filimonov M.I. Composition and tribological properties of hardened cutting blades of tillage machines under abrasive deterioration. *Journal of friction and wear*.-2018.-№39(2).- .158-163, <https://doi.org/10.3103/S1068366618020137>
16. Stawicki T., Bialobrzaska B., Kostencki P. Tribological properties of plough shares made of pearlitic and martensitic steels. *Metals*.-2017.-№7(4).-139, <https://doi.org/10.3390/met7040139>
17. Yazici A., Cavdar U. A study of soil tillage tools from boronized sintered iron. *Metal science and heat treatment*.-2017.-№58 (11-12).- P.753-757, <https://doi.org/10.1007/s11041-017-0091-3>
18. Ишков А.В., Кривочуров Н.Т., Мишутсин Н.М., Иванайский В.В., Максимов А.А. Влияние технологических факторов на износ поверхностно-упрочненных стрельчатых лап. *Технологии и средства механизации сельского хозяйства. Вестник АГАУ*. - 2010. - № 10. - С.92-96.
19. Лялякин В.П., Аулов В.Ф., Ишков А.В., Кривочуров Н.Т., Иванайский В.В., Соколов А.В., Коваль Д.В., Дрейер Х., Швамм В. Износ долот анкерных сошников сеялки Primera DMC-9000, упрочненных комбинированными покрытиями, в условиях Алтайского края. *Технологии и средства механизации сельского хозяйства. Вестник АГАУ*. - 2014. - № 12. - С.124-132.
20. Бартенов И.М., Поздняков Е.В. Изнашивающая способность почв и ее влияние на долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин. *Машины и оборудование. Лесотехнический журнал*. - 2013. - № 3. - С.114-123.
21. Ахметшин Т.Ф. Повышение долговечности почвообрабатывающих рабочих органов, перемещающихся в абразивной почвенной среде// *Вестник Башкирского ГАУ*. - 2013. - №4 (28). - С.76-80.
22. Салынских В.М., Щербакова Е.Е., Арефьева Л.П. Улучшение механических свойств пружин из стали 65Г изотермической закалкой// *Молодой исследователь Дона*. - 2018. - № 2(11). - С.77-80.
23. Нукешев С.О., Есхожин Д.З., Косатбекова Д.Ш. Обоснование технологии и конструктивно-технологической схемы зернотукотравяной сеялки// *Байкальский Вестник ДААД. Иркутский государственный университет имени А.А. Ежовского*. - 2018. - №1. - С.88-92.
24. Нукешев С.О., Есхожин Д.З., Ахметов Е.С., Тлеумбетов К.М., Косатбекова Д.Ш. Рабочий орган зернотукотравяной сеялки. *Исследование, результаты*. ISSN 2304-3334. - 2020. - № 2 (86). - С.327-337.
25. Нукешев С.О., Есхожин Д.З., Романюк Н.Н., Ахметов Е.С., Тлеумбетов К.М., Сактаганов Б.Ж., Косатбекова Д.Ш. Технологические и технические решения проблемы внесения основной дозы минеральных удобрений в системе точного земледелия в условиях северного Казахстана// *Новости науки Казахстана. МРНТИ 68.85.29, 55.57.33*. - 2020. - №1 (143). - С.176-187.
26. Nukeshev, S., Yeskhozhin, K., Akhmetov, Y., Kossatbekova, D., Tleumbetov, K., Tanbayev, K. Traction force investigation of the new working body of the sod seeder. *International Journal of Technology (IJTech)*.- 2023.- № 14(3).-P. 536-548, <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i3.6008>
27. Зацепин А. Ф., Бирюков Д. Ю. Физические методы контроля и диагностики объектов инфраструктуры. Екатеринбург: УрГУПС. - 2016. – 45 с.

28. Капранов Б.И., Коротков М.М. Акустические методы контроля и диагностики: учебное пособие, часть 1. Издательство Томского политехнического университета. - 2008. - 186 с.

Сведения об авторах:

Косатбекова Динара Шадиарбековна – магистр технических наук, докторант, старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, пр. Победы 62, 010000, Астана, Казахстан, 8707 106 5219, ms.kossatbekova@mail.ru

Нукешев Саяхат Оразович – доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, пр. Победы 62, 010000, Астана, Казахстан, 8701 512 9791, snukeshev@mail.ru

Романюк Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент, ректор, Белорусский государственный аграрный технический университет, пр. Независимости, 99, 220023, Минск, Беларусь, +375 (29) 557 06 09, romanyuk-nik@tut.by

Косатбекова Динара Шадиарбековна– техника ғылымдарының магистрі, докторант, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, 010000, Астана, Қазақстан, 8707 106 5219, ms.kossatbekova@mail.ru

Нукешев Саяхат Оразович – техника ғылымдарының докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, 010000, Астана, Қазақстан, 8701 512 9791, snukeshev@mail.ru

Романюк Николай Николаевич – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, ректор, Беларусь мемлекеттік аграрлық техникалық университеті, Тәуелсіздік даңғылы, 99, 220023, Минск, Беларусь, +375 (29) 557 06 09, romanyuk-nik@tut.by

Kossatbekova Dinara Shadiyarbekovna – master of technical Sciences, doctoral student, senior lecturer, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, 62 Pobedy Ave., 010000, Astana, Kazakhstan, 8707 106 5219, ms.kossatbekova@mail.ru

Nukeshev Sayakhat Orazovich – doctor of technical sciences, professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, 62 Pobedy Ave., 010000, Astana, Kazakhstan, 8701 512 9791, snukeshev@mail.ru

Nikolay Nikolaevich Romanyuk – candidate of Technical Sciences, docent, rector, Belarusian State Agrarian Technical University, 99 Nezavisimosti Ave., 220023, Minsk, Belarus, +375 (29) 557 06 09, romanyuk-nik@tut.by.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 65.13.13

Научная статья

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-132-150>

Критериальное уравнение при оптимизации режимов работы фильтрующей центрифуги

М.К. Шаяхметова^{1*}, А.Л. Касенов², А.К. Шаяхметова¹, Б.А. Лобасенко³

¹ НАО «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан

² НАО «Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина», Астана, Казахстан

³ Кемеровский государственный университет, Кемерово Россия

(E-mail: ¹madina07sh@mail.ru)

Аннотация. В Республике Казахстан одним из приоритетных направлений развития средних и малых предприятий является внедрение технологий безотходной переработки сырья. К числу таких производств следует отнести средние и малые мясоперерабатывающие предприятия. В совершенствовании безотходной технологии мясopодуkтов производство сухих кормов весьма востребовано по причине большой пищевой ценности последних, которые зачастую превосходят другие кормовые продукты. В производстве сухих кормов для животных процесс центрифугирования используется для отделения жира от шквары. Применение процесса центрифугирования в выделении жира из шквары приводит к тому, что качество выделяемого жира значительно выше, чем в процессах прессования и экстракции.

С учетом потребностей развития мясоперерабатывающего производства большое значение имеет совершенствование процесса разделения жидких неоднородных систем на центробежном оборудовании, предусматривающее снижение удельных энергозатрат оборудования и собственные возможности увеличения объемов производства продукции. В свете вышеизложенного была сформулирована цель научного исследования: совершенствование конструктивных характеристик и режимов работы фильтрующей центрифуги для получения шквары как целевого конечного продукта. В качестве основных направлений исследования выбраны различные варианты конструктивной композиции опытной установки, испытание и физико-математический анализ данных, на основании которых получили наиболее оптимальные режимы работы центробежной установки с технико-экономических позиций.

В качестве идей научного исследования полагали физико-математическую обработку данных эксперимента, на основании которых построили математические и физические модели. Последние использовали для решения поставленных практических задач научного исследования.

Ключевые слова: процесс, технология, технико-экономическая оптимизация, центрифуга, модель, производство, критериальные уравнения.

Введение

Актуальность выбранной темы по совершенствованию конструкции и режимов работы фильтрующей центрифуги обусловлена необходимостью внедрения технологии безотходной переработки мясного сырья с целью производства сухих кормов, обладающих высокой пищевой ценностью. Важнейшим звеном в данной переработке является технологическое оборудование для разделения неоднородных жидких систем, представленное в данной работе фильтрующей центрифугой. Вполне понятно, что важнейшими требованиями к эксплуатации данного оборудования (в нашем случае центрифуги) являются совершенствование конструкции и оптимизация режимов работы центрифуги, что необходимо для повышения производительности и снижении удельных энергозатрат. Последнее особенно актуально в свете внедрения в общемировом масштабе ресурсосберегающих технологий и перехода к так называемой "зелёной" экономике [1].

Работа основана на опыте отечественных и зарубежных учёных

Большой вклад в разработку теории и совершенствование конструкций пищевых центрифуг технико-экономической оптимизацией работы последних внесли отечественные учёные: Г.М. Знаменский, В.И. Соколов, Е.В. Томбаев, С.М. Гребенюк, А.И.Пелеев, С. Г. Либерман, В.Г. Жуков, Аснер В.И., Бремер Г.И., Гельперин; В. А. Масликов, И.А. Рогов, А. В. Горбатов, А.Н. Мачихин, М. Б. Азаров, У.Ч.Чоманов, Д.Т. Жайлаубаев, С.Н. Туменов, Оспанов, Е. С. Спандияров, А. Б. Оспанов, С.В. Федотов, А. Е. Еренгалиев., А. К. Какимов., А. Л. Касенова.

Следует отметить авторов конструкций горизонтальных шнековых центрифуг для разделения жира: Лимонов Г.Е., Деханов В.А. (линия Я8-ФОБ-М); фильтрующих центрифуг для извлечения жира из измельчённой кости: М.Л.Файвишевский, С.Г. Либерман, К.Д. Синицын, В.П. Петровский (ФМД-802К-05 в линии Я8-ФЛК); М.Л.Файвишевский, Н.П.Кузьменко (интегральная обработка мякотного сырья на усовершенствованной машине Я8-ФИБ).

К числу зарубежных учёных следует отнести Д.Рассела; Д. Милнера; М.Кастельяно; П.Переса; И. Лодоса, Грейса Д., Дъери И., Ненигера Е., Сторроу И.

Методология

Выработана блок-схема проведения эксперимента, в которой показана последовательность всех отдельных операций и процессов. Отображена схема экспериментальной центробежной установки. Рассмотрены технологические операции, сформированы весовые партии сырья. Выбраны временные промежутки опытов, скоростные режимы ротора центрифуги. Показаны необходимые замеры параметров и режимов. Данные замеров и дальнейших вычислений по каждому опыту помещены в интегральную таблицу (базу данных эксперимента). На основании данной таблицы в дальнейших разделах выполнили требуемые расчёты получили математические и физические модели.

В качестве исходного сырья использовали отходы производства переработки свинины в виде агломерата свиного жира, шквары, водной суспензии. Для интенсификации процесса центрифугирования свиное сырьё разогревали до температурного диапазона 75-80С. Сырьё дробили на отдельные партии по весу, в среднем, от 400 до 1000 г по 12 навесок. В свою очередь сформировали 4 такие партии в соответствии с выбранной траекторией эксперимента. Все 4 партии предназначались для 4-х частотных режимов оборотов ротора центрифуги: 1000, 1500, 2000, 2500 мин⁻¹. Применили электродвигатель центрифуги с регулировкой частоты вращения ротора. Каждый частотный режим включал в себя 3 временных цикла центрифугирования: 5, 7, 10, 15 мин (с повтором 3 раза). При этом загрузка по массе (весу) составляла от 410 до 1000 г.

По окончании каждого опыта полученная фаза шквары взвешивалась. Все результаты ($G_{ш} \cdot g$) сводились в журнал наблюдений. Таким образом, каждый частотный режим состоял из 12-ти опытов. Все 4 частотных режима в сумме составили 48 опытов. Рассчитали производительность центрифуги по выходу шквары $G_{ш}$ г/мин, производительность центрифуги по загружаемому сырью G_c , г/с. Рассчитали потребляемую мощность электродвигателя центрифуги в кВт, $N_{эдв} \cdot 10^3$, а также значения нагрузки мощности электродвигателя за период каждого опыта $N_{эдв} \cdot 6 \cdot 10^4$ кВт·ч. Все значения замеров в опытах и полученные расчётным путём внесли в таблицу 1. Опытные и расчётные данные эксперимента.

Числовые значения опытов математически обработали. Получили математические модели эксперимента с проверкой адекватности вычислений. В результате провели оптимизацию работы центрифуги на основе математического моделирования. Практические испытания подтвердили правильность, адекватность полученной модели (раздел «Математическая модель»).

Практические результаты эксперимента представили в виде графических зависимостей (раздел «Физическая модель»). Анализируя полученные графики, были сделаны выводы и получены алгебраические выражения полученных функций.

Продолжая физическое моделирование, используя теоремы подобия, получили ряд критериальных уравнений, описывающих энергетические и материальные зависимости при центрифугировании. Полученные критериальные уравнения позволяют достаточно просто рассчитать оптимальные значения производительности установки и затраты мощности при различных режимах эксплуатации [2,3].

На основании опытных и расчётных значений эксперимента были сделаны обоснованные выводы по оптимальным значениям частоты оборотов ротора и максимальных выходах шквары в процентном соотношении и по производительности. Выяснены оптимальные технико-экономические режимы работы экспериментальной фильтрующей центрифуги.

В ходе проведения эксперимента выяснили следующие недостатки экспериментальной центрифуги: низкую производительность; короткий вал шнека питателя; толстые стенки фильтрующего барабана; низкий процент отделения жира от шквары.

С целью совершенствования конструкции установки произвели следующие изменения:

1. Удлинили шнековое разгрузочное устройство, чтобы шнек доставал дно фильтрующего барабана для полной выгрузки.

2. Разгрузочное устройство снабдили подвижным скребком, совмещенным с рычагом, позволяющем смещать скребок и периодически снимать твердую фазу с поверхности фильтрующего барабана, направляя твердую фазу в разгрузочное устройство. При этом геометрическая ось скребка совпадает с направлением результирующих двух сил: силы центрифугирования, направленной перпендикулярно поверхности барабана, и поступательной силы вращения барабана.

С целью увеличения процента выхода шквары при центрифугировании в ходе эксперимента, увеличивая частоту вращения ротора, определили оптимальное число оборотов ротора, при котором был обеспечен максимальный выход искомого жира [13].

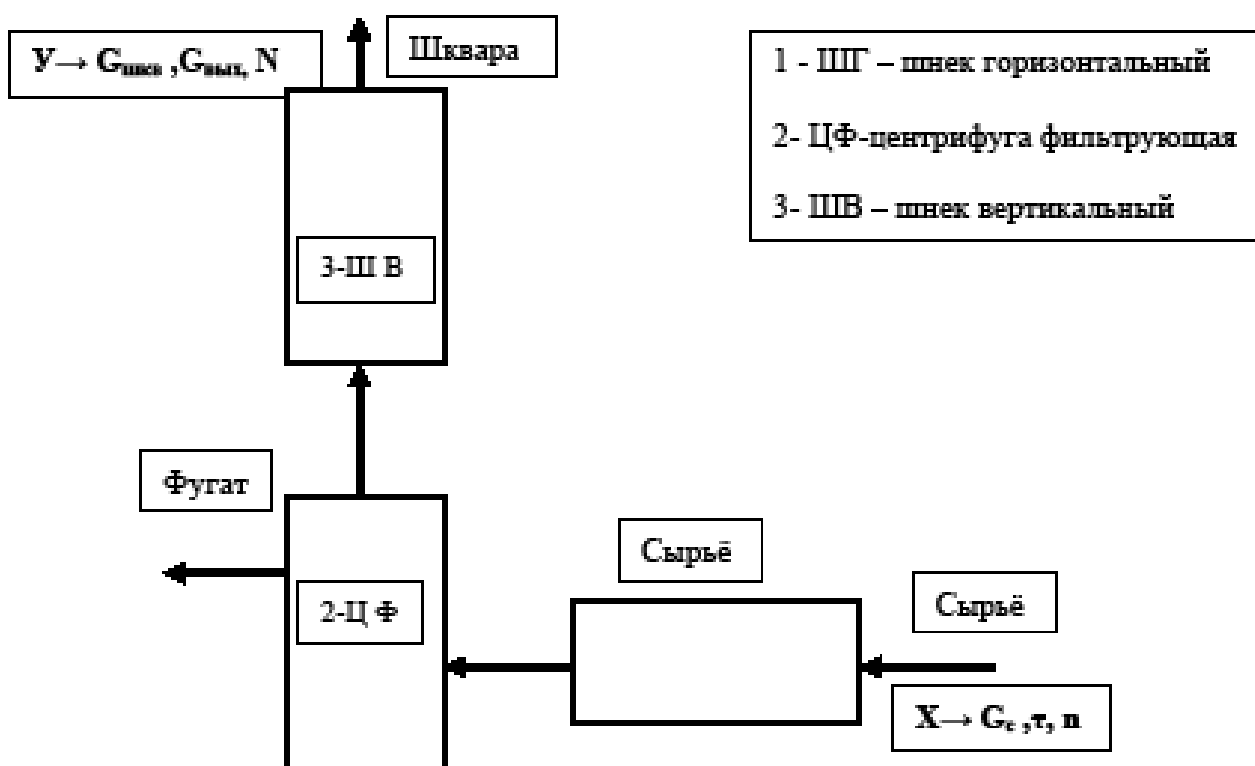


Рисунок 1. Блок-схема экспериментальной установки

Таблица 1

Параметры блок-схемы

Управляющие параметры X:	Управляемые параметры Y:
1. Масса загружаемого сырья. G_c , г	1. Массовый выход шквары $G_{\text{вых}}$, г.
2. Время обработки сырья. τ , мин	2. Производительность по шкваре $G_{\text{ш}}$, г/мин
3. Частота вращения ротора центрифуги n , б/мин.	3. Потребная мощность, N, кВт.

2. Частный вид физической модели. Представили в виде дифференциального уравнения, позволяющего выполнить материальный расчёт периодического, а также непрерывного процессов фильтрования при известных значениях избыточного давления и табличных или расчётных значений сопротивления осадка и фильтрующей перегородки.

$$\frac{dV}{F \cdot dt} = \frac{\Delta p}{\mu \cdot (R_{oc} + R_{ф.п.})} \quad (1)$$

где dV – элементарный объём (m^3) неоднородной жидкой системы (суспензии), прошедший через фильтр, через поверхность фильтра F за элементарное время dt ;

dV/dt – объёмный расход суспензии, m^3/c ;

Δp – избыточное давление, вызванное центробежной силой, Па;

R_{oc} – сопротивление слоя осадка, $1/m^2$;

$R_{ф.п.}$ – сопротивление фильтрующей перегородки, $1/m^2$;

μ – динамический коэффициент вязкости суспензии, Па·с .

Величина центробежной силы (ЦБС), действующей на частицы жидкости и осадка, непрерывно изменяется во времени в пусковой период и затем становится постоянной до периода критической толщины слоя осадка [3,4]. Динамическое сопротивление процесса фильтрования существенно возрастает R_{oc} . Затем центробежное давление увеличивают до некоторого рабочего значения [5]. Обеспечивается постоянная скорость фильтрования. Возможен также режим постоянного избыточного давления. В этом случае скорость фильтрования постепенно снижается до некоторого критического значения.

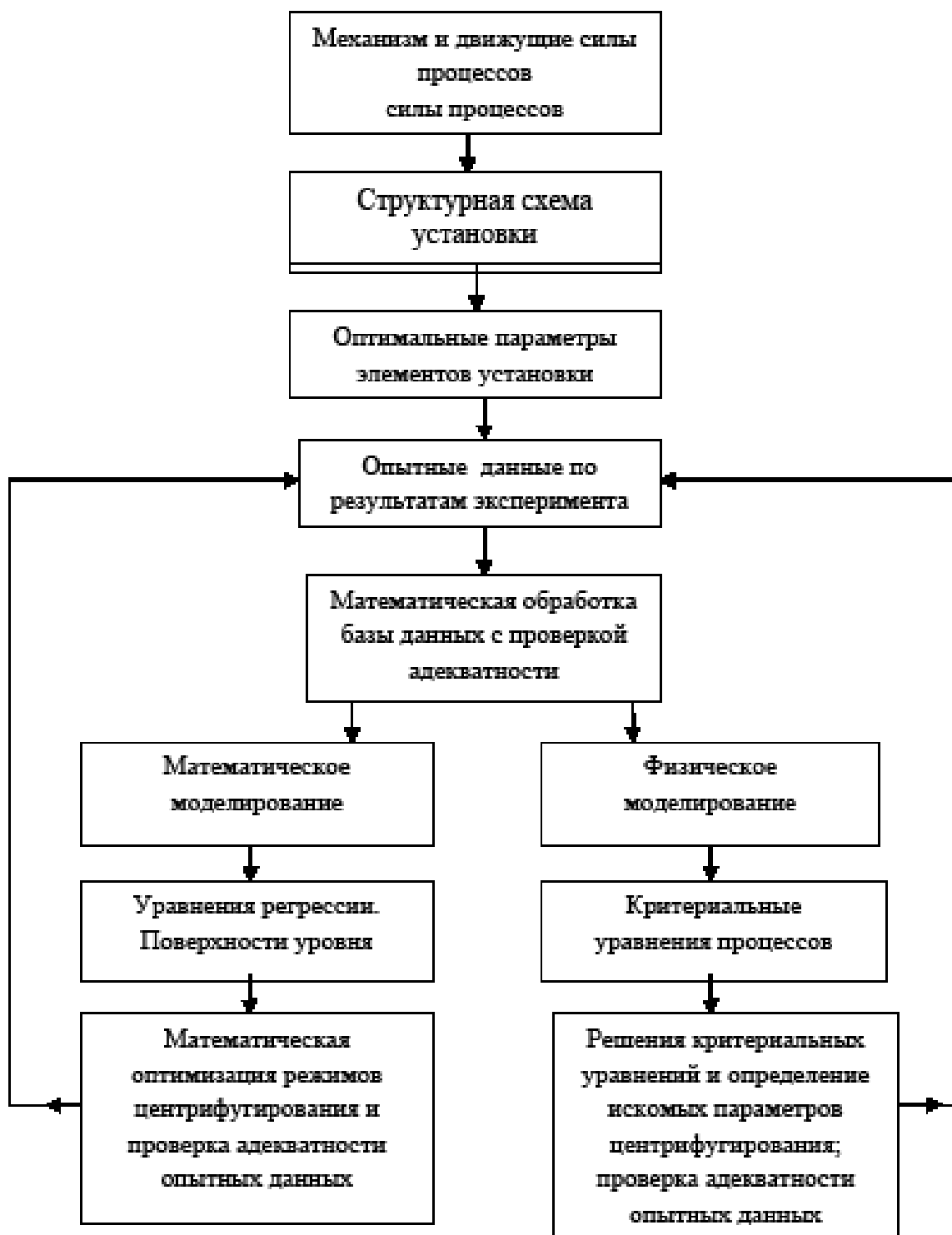


Рисунок 2. Блок-схема эксперимента и физико-математического моделирования

3. Физические модели центрифугирования

Дифференциальное уравнение баланса давлений на бесконечно тонкий слой примет вид:

$$-dp = -dp_c - dp_k - dp_{тр} \quad (2)$$

где dp – полный перепад давления (фильтрующий напор);

– dp_c – градиент давления в жидкости, движущейся через осадок в центробежном поле;

– $d_{рк}$ – градиент давления в жидкости, появляющийся в результате изменения кинетической энергии потока;

– $dp_{тр}$ – градиент давления, затрачиваемый на преодоление сил трения.

Дифференциальное уравнение материального баланса по твёрдой фазе в элементарном слое осадка с поверхностью $F_{oc} = 2\pi \cdot r \cdot h$:

$$C \cdot dV = 2\pi \cdot r \cdot h \cdot \rho_{мс} \cdot [1 - \varepsilon] dr \quad (3)$$

где C – концентрация твёрдой фазы в исходной суспензии, кг/м³ фильтрата;

dV – увеличение объёма фильтрата за время вращения dt , м³;

$\rho_{тв}$ – плотность твёрдой фазы, кг/м³;

ε – порозность осадка;

h – высота барабана центрифуги, м.

Дифференциальное уравнение материального баланса по фильтрату для выделенного элемента в слое:

$$\frac{dV}{d\tau} = 2\pi \cdot r \cdot h \cdot w \quad (4)$$

w – скорость фильтрата, движущегося через слой осадка толщиной dr .

Продифференцируем уравнение (4):

$$dw = \frac{dV}{d\tau} \cdot \frac{dr}{2\pi \cdot h \cdot r^2} \quad (5)$$

$$dp_k = 2\pi \cdot r \cdot h \cdot w \quad (6)$$

С учётом уравнений (4) и (5) уравнение (2) примет вид:

$$dp_k = -\rho \cdot \left(\frac{dV}{d\tau} \right)^2 \cdot \frac{dr}{(2\pi \cdot h)^2 \cdot r^3} \quad (7)$$

Градиент давления при фильтровании в центробежном поле:

$$dp_y = \rho \cdot \omega^2 \cdot r dr \quad (8)$$

Градиент давления за счёт сопротивления сил трения выразим в соответствии с общим уравнением фильтрования:

$$-dp_{\text{тр}} = \frac{\rho_{\text{мс}} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot R_{\text{ос}} \cdot \mu}{2} \cdot \left(\frac{dV}{d\tau} \right) \cdot \left(\frac{dr}{r} \right) \quad (9)$$

С учётом подстановки всех слагаемых уравнения получим основное уравнение фильтрования в центробежном поле:

$$-\int_{p_2}^{p_3} dp = -\rho \cdot \omega^2 \int_{r_2}^{r_3} r dr + \frac{\rho}{(2\pi \cdot h)^2} \cdot \left(\frac{dV}{d\tau} \right)^2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \frac{dr}{r^3} + \frac{\rho_{\text{мс}} \cdot \mu}{2\pi \cdot h} \cdot \left(\frac{dV}{d\tau} \right) \cdot \int_{r_2}^{r_3} R_{\text{ос}} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \frac{dr}{r} \quad (10)$$

где p_2 и p_3 – давления на поверхность осадка и стенки ротора, Па;

r_2 и r_3 – внутренний и наружный радиусы поверхности осадка и стенок ротора соответственно, м;

ε – порозность в некоторой точке слоя;

$R_{\text{ос}} = R / \text{ос}$ – удельное сопротивление осадка в некоторой точке слоя, $1/\text{м}^2$;

h – высота стенки барабана центрифуги, м;

$dV/d\tau$ – объёмный расход фильтрата (объёмная скорость процесса), $\text{м}^3/\text{с}$;

ω – угловая скорость вращения барабана центрифуги, с^{-1} .

4. Критериальные уравнения центробежного фильтрования

В соответствии с заявленной темой статьи рассмотрим полученные при исследовании критериальные уравнения центробежного фильтрования, позволяющие упростить расчёты материальных, кинетических, динамических параметров центробежной фильтрации [6,7].

Согласно второй теореме подобия, количественные результаты опытов следует представлять в форме критериальных уравнений данного процесса (в данном случае – центробежного фильтрования). Критериальные уравнения как вид физического моделирования получим на основе теории подобия [8].

Как известно, полное подобие включает в себя: геометрическое, кинематическое и динамическое виды подобия натурального объекта и физической модели. Положим, что это требование априори соблюдается.

Применим метод анализа размерностей, π – теорему, для вывода 1-го критериального уравнения. Для последующих критериальных уравнений используем метод упрощения дифференциальных уравнений центробежного фильтрования [9, 10, 11.12].

1. Вывод 1-го критериального уравнения.

Основная задача оптимизации: получение максимальной производительности по выходу шквары ($G_{\text{ш}}$) при оптимальном числе оборотов (n) ротора центрифуги.

Применим метод анализа размерностей. Рассмотрим искомую производительность установки по выходу шквары $G_{\text{ш}}$, как функцию ряда аргументов – физических параметров.

$$G_{ш} = f(\mu, \rho, n, D) \quad (11)$$

где $G_{ш}$ – удельная массовая производительность центрифуги по шкваре, $кг/с \cdot м^2$.

μ – динамический коэффициент вязкости исходного жирового сырья, $Па \cdot с$.

ρ – плотность жирового сырья, $кг/м^3$.

n – число оборотов вала центрифуги, $с^{-1}$.

D – внутренний диаметр барабана центрифуги, м.

Согласно второй теореме подобия, функциональная зависимость физических процессов всегда имеет вид показательного уравнения. Имеем:

$$G_{ш} = B \cdot \mu^x \cdot \rho^y \cdot n^z \cdot D^q \quad (12)$$

B – численный коэффициент;

x, y, z, q – показатели степеней

Имеем 5 переменных. Следовательно, согласно п-теореме, число критериев определим:
 $\theta = 5 - 3 = 2$.

Распишем размерности величин, входящих в уравнение (12):

$$[G_{ш}] = кг/с \cdot м^2 = кг \cdot с^{-1} \cdot м^2$$

$$[\mu] = Па \cdot с = Н \cdot с/м^2 = кг \cdot м \cdot с/с^2 \cdot м^2 = кг \cdot с^{-1} \cdot м^{-1}$$

$$[\rho] = кг/м^3 = кг \cdot м^{-3}$$

$$[n] = с^{-1}$$

$$[D] = м$$

Подставим размерности величин в уравнение (12):

$$кг \cdot с^{-1} \cdot м^2 = B \cdot (кг \cdot с^{-1} \cdot м^{-1})^x \cdot (кг \cdot м^{-3})^y \cdot (с^{-1})^z \cdot (м)^q$$

Преобразуем:

$$кг \cdot с^{-1} \cdot м^2 = B \cdot (кг \cdot с^{-1} \cdot м^{-1})^x \cdot (кг \cdot м^{-3})^y \cdot (с^{-1})^z \cdot (м)^q$$

$$кг \cdot с^{-1} \cdot м^{-2} = B \cdot (кг)^{x+y} \cdot (с)^{-x-z} \cdot (м)^{-x-3y+q}$$

$$кг. 1 = x + y$$

$$с. -1 = -x - z$$

$$м. -2 = -x - 3y + q$$

Выразим все неизвестные показатели через «х».

$$y = 1 - x$$

$$z = 1 - x$$

$$-2 = -x - 3y + q$$

$$q = x + 3y - 2 = x + 3(1-x) - 2 = x + 3 - 3x - 2 = 1 - 2x$$

Подставим показатели в уравнение (3.3.2.38). Получим:

$$G_{ш} = B \cdot \mu^x \cdot \frac{\rho}{\rho^x} \cdot \frac{n}{n^x} \cdot \frac{D}{D^{2x}}$$

Получим уравнение:

$$G_{ш} = B \cdot \left(\frac{\mu}{\rho \cdot n \cdot D^2} \right)^x \cdot \rho \cdot n \cdot D \quad (13)$$

Распишем размерности отдельных комплексов, входящих в уравнение (13):

$$\left(\frac{\mu}{\rho \cdot n \cdot D^2} \right) = \frac{\frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot 1 \cdot \text{м}^2}}{\frac{\text{м}^3 \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{с}}} = \frac{\frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}}{\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}} = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{с}^2 \cdot \text{м}^2}}{\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}} = \frac{\text{с} \cdot \text{м}}{\text{кг}} = 1$$

Выяснили, что комплекс $\left(\frac{\mu}{\rho \cdot n \cdot D^2} \right)$

является величиной безразмерной.

Таким образом, получили величину, обратную модифицированному критерию Рейнольдса для центрифугирования $Re_{цф}$:

$$\left(\frac{\mu}{\rho \cdot n \cdot D^2} \right) = \frac{1}{Re_{цф}} \quad (14)$$

$$Re_{цф} = \frac{\rho \cdot n \cdot D^2}{\mu}$$

$Re_{цф}$ характеризует режим движения жидкого сырья при центрифугировании наряду с критерием Фруда $Fr = n^2 \cdot D / 1800$.

$$|\rho \cdot n \cdot D| = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}}}{\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}}$$

Левую часть уравнения (5.3.5) делим на комплекс $\rho \cdot n \cdot D$:

$$\left| \frac{G_{ш}}{\rho \cdot n \cdot D} \right| = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}}{\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}} = 1 \quad (15)$$

Полученное дробное выражение (5.3.6) представляет собой безразмерный комплекс – критерий производительности Π (в данном случае по шкваре). Здесь величина $\rho n D$, обратная удельной производительности, показывает сопротивление R_{Π} величине производительности, которое пропорционально плотности среды (ρ), числу оборотов барабана (n) и определяющему геометрическому размеру, внутреннему диаметру барабана центрифуги (D).

$$\Pi = \frac{G_{ш}}{\rho \cdot n \cdot D} = \frac{G_{ш}}{R_{цф}} \quad (16)$$

Таким образом, в результате получено критериальное уравнение массовой удельной производительности:

$$\Pi = \frac{G_{ш}}{\rho \cdot n \cdot D} = B \cdot (Re_{цф})^k \quad (17)$$

где $k = -x$ – показатель степени, зависящий от режима и определяемый опытным путём. B – числовой коэффициент, зависящий от интенсивности центрифугирования, также определяемый из опытов. Величины B и x также отражены в графиках.

Или в другой форме:

$$G_{ш} = B \cdot \rho \cdot n \cdot D \cdot (Re_{цф})^k \quad (18)$$

По опытным данным для оптимальной частоты $n = 2000$ об/мин имеем:
 $D = 180$ мм. Средняя расчётная площадь осаждения $F = 0,0635$ м²

Таблица 2

Основные данные для расчёта параметров критериального уравнения производительности

№	Частота вращения ротора об/мин n	Оптимальное время центрифугирования τ , мин	Загрузка сырья в центрифугу G_с , г	Число Рейнольдса Re_{цф}	Параметр; кг/м ² ·с $\rho n D$	Коэффициент B	Показатель степени k=-x	Удельный выход шквары в кг/с·м ² G_{вых}	Максимальная производительность по шкваре, г/мин G_ш
1	1000	5	880	38507	2995,0	1,73	1,155	0,0262	100,0
2	1500	5	870	56989	4432,5	1,73	1,155	0,0306	116,6
3	2000	5	870	75986	5910,0	1,73	1,155	0,0350	133,35
4	2500	5	580	94982	7387,5	1,73	1,155	0,0386	147,07

Используя откорректированную программу MathCAD, получили: $x = -0,545$ и $B = 0,0027$. Имеем:

$$G_{вых} = 0,0027 \cdot \rho \cdot n \cdot D \cdot (Re_{цф})^{-0,545} \quad (19)$$

Проверили правильность полученного уравнения, вычисляя значения параметров в таблице 2.

Рассчитали удельный выход шквары $G_{\text{вых}}$ (кг/с·м²) (удельную производительность по шкваре):

1. При 1000 об/мин. $G_{\text{вых}} = 0,0027 \cdot 2995 \cdot (38507)^{-0,545} = 4,792 \cdot (1/38507)^{0,545} = 8,184 \cdot 0,0032 = 0,02619 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$

2. При 1500 об/мин. $G_{\text{вых}} = 0,0027 \cdot 4432,5 \cdot (56989)^{-0,545} = 11,968 \cdot (1/56989)^{0,545} = 11,968 \cdot 0,00256 = 0,0306 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$

3. При 2000 об/мин. $G_{\text{вых}} = 0,0027 \cdot 5910 \cdot (75986)^{-0,545} = 15,957 \cdot (1/75986)^{0,545} = 15,957 \cdot 0,00219 = 0,035 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$

4. При 2500. $G_{\text{вых}} = 0,0027 \cdot 7387,5 \cdot (94982)^{-0,545} = 19,946 \cdot (1/94982)^{0,545} = 19,946 \cdot 0,00194 = 0,0386 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$

Производительность центрифуги по шкваре $G_{\text{ш}}$ (г/мин) находим по элементарной формуле:

$$G_{\text{ш}} = 60 \cdot 1000 \cdot G_{\text{вых}} \cdot F \quad (20)$$

где $G_{\text{вых}}$ – удельная массовая секундная производительность центрифуги с единицы площади поверхности осаждения в кг/с·м²;

F – фактическая площадь осаждения центрифуги (внутренняя поверхность барабана), м². Известна по конструктивным данным установки и составляет $F=0,0635 \text{ м}^2$.

60– перевод из секунд в минуты.

1000 – перевод из размерности "кг" в размерность "г".

Рассчитали массовую минутную производительность центрифуги по шкваре $G_{\text{ш}}$ (г/мин):

1. При 1000 об/мин. $G_{\text{ш}} = G_{\text{вых}} \cdot F \cdot 6 \cdot 10^4 = 0,0262 \cdot 0,0635 \cdot 6 \cdot 10^4 = 99,822 \approx 100 \text{ г/мин}$

2. При 1500 об/мин. $G_{\text{ш}} = G_{\text{вых}} \cdot F \cdot 6 \cdot 10^4 = 0,0306 \cdot 0,0635 \cdot 6 \cdot 10^4 = 116,6 \text{ г/мин}$

3. При 2000 об/мин. $G_{\text{ш}} = G_{\text{вых}} \cdot F \cdot 6 \cdot 10^4 = 0,035 \cdot 0,0635 \cdot 6 \cdot 10^4 = 133,35 \text{ г/мин}$ 4. При 2500 об/мин. $G_{\text{ш}} = G_{\text{вых}} \cdot F \cdot 6 \cdot 10^4 = 0,0386 \cdot 0,0635 \cdot 6 \cdot 10^4 = 147,07 \text{ г/мин}$

$G_{\text{вых}}$ (кг/с·м) от $Re_{\text{цф}}$ – число Рейнольдса, характеризующего режим центрифугирования. Построены соответствующие графики.

$$G_{\text{вых}} = f (Re_{\text{цф}})$$

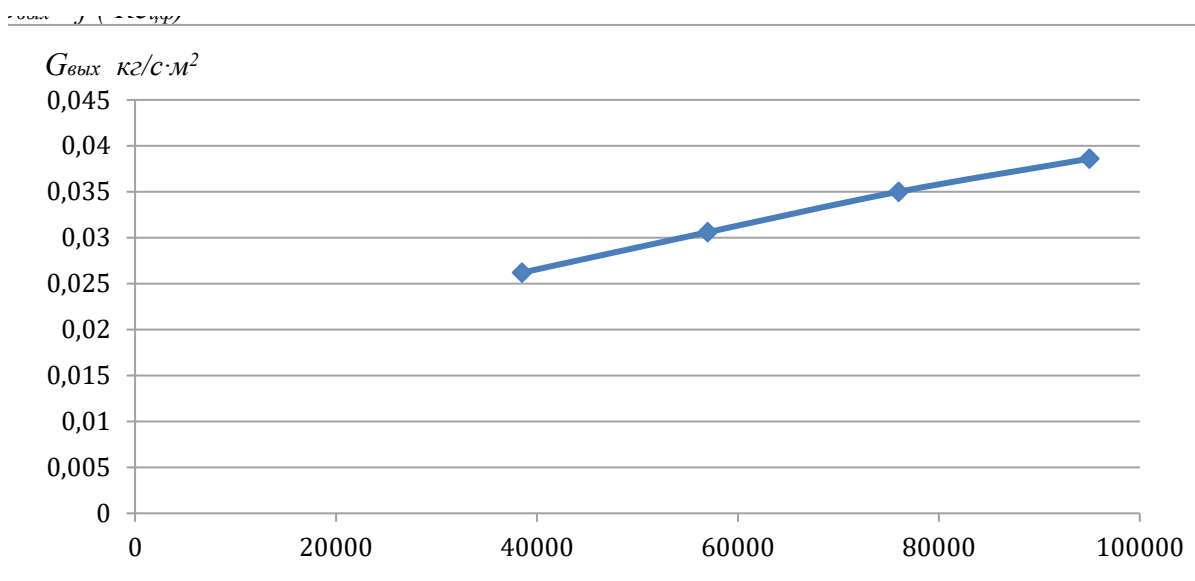


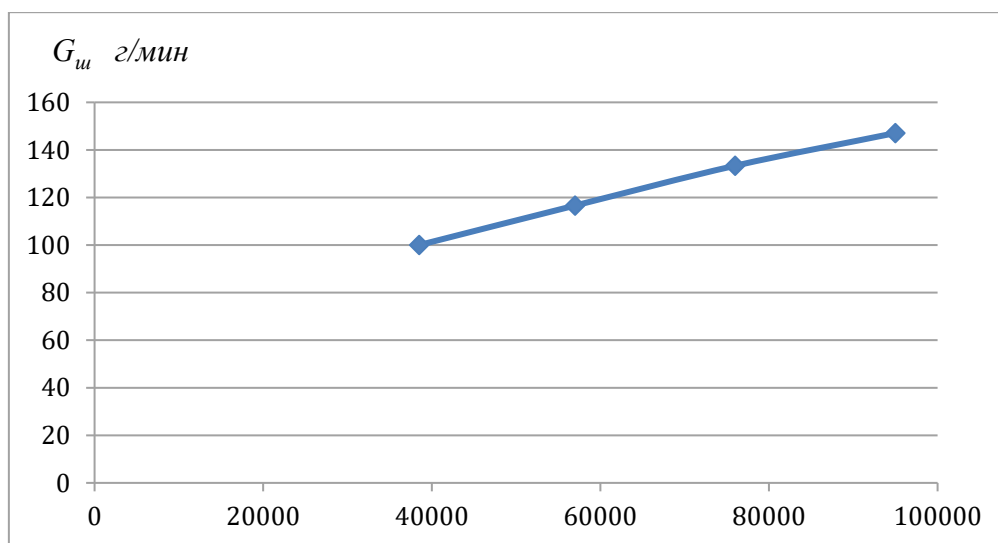
Рисунок 3. График функции зависимости удельной массовой производительности по шкваре $G_{\text{вых}}$ ($\text{кг/с}\cdot\text{м}$) от $Re_{\text{цф}}$ – числа Рейнольдса, характеризующего режим центрифугирования

Таблица 3

Данные для графика $G_{\text{вых}} = f(Re_{\text{цф}})$

Число Рейнольдса $Re_{\text{цф}}$	Удельный выход шквары в $\text{кг/с}\cdot\text{м}^2$ $G_{\text{вых}}$
38507	0,0262
56989	0,0306
75986	0,0350
94982	0,0386

$$w = f(Re_{\text{цф}})$$



Данные для графика $G_{ш} = f(Re_{цф})$

Число Рейнольдса $Re_{цф}$	Производительность по шкваре, г/мин $G_{ш}$
38507	100,0
56989	116,6
75986	133,35
94982	147,07

Результаты и обсуждение

Оптимизация процесса центрифугирования при получении шквары, в частности, состояла в обеспечении такого режима работы, при котором абсолютный выход шквары $G_{вых}$ (г) и процентная доля $\Delta Ш$ (%) будут максимально возможными при оптимальном (минимальном) времени центрифугирования τ (мин), а также при относительно небольшой затраченной мощности $N_{эдр}$. Опытным путём такой режим работы был получен.

Рассчитали и определили оптимальный режим с позиций математической обработки экспериментальных данных.

Выбирали параметр оптимизации y ($G_{вых}$), зависящий от факторов X_1, X_2, \dots, X_n . Задача оптимизации: определение таких значений факторов, при которых этот параметр достигает экстремума (минимума или максимума).

Параметр оптимизации y (критерий оптимизации, целевая функции) количественно характеризует исследуемый процесс.

В нашем случае в качестве целевой функции была выбрана производительность центрифуги по выходу шквары $G_{вых}$. Факторы, определяющие параметр оптимизации y - это масса загрузки сырья m (X_1) время центрифугирования τ (X_2).

На основании физико-математической обработки массива данных получили оптимальные технологические режимы работы центрифуги.

Как видно из полученных графиков и вычислений, наибольший выход шквары наблюдался при частоте вращения ротора центрифуги $n = 2000$ об/мин.

Наибольшая производительность по выходу шквары для всех режимов по частоте вращения ротора центрифуги наблюдалась при времени обработки сырья $\tau = 5$ мин. При этом при частоте $n = 2500$ об/мин была получена максимальная производительность $G_{ш} = 147,07$ г/мин

Результатами выполненной исследовательской работы в узких рамках статьи являются экспериментально подтвержденная правильность конструктивных решений разработанной установки; теоретически и практически подтвержденные оптимальные технико-экономические режимы работы центрифуги.

Применив теорию подобия, получили адекватные для практических расчётов критериальные уравнения, одно из которых рассмотрели в данной статье.

Выводы

Математические и физико-математическая обработка с проверкой адекватности вычислений опытных данных позволила получить требуемые математические и физические модели процессов центробежного осаждения с одновременной фильтрацией. Анализ теоретических и практических результатов позволил определить оптимальные технико-экономические режимы работы центрифуги. Выполнена практическая реализация результатов эксперимента и расчётов, включающая системную и экономическую оптимизацию работы всей комплексной установки, а также инженерную методику расчётов последней. Таким образом, поставленные цели и задачи исследовательской работы решены.

Вклад авторов:

Касенов А.Л. – интерпретация результатов, концепция методологии.

Шаяхметова А.К. – сбор данных, оформление список литературы.

Лобасенко Б.А. – написание моделирования статьи, анализ, редактирование.

Список литературы

1. Реализация Послания Президента РК в АПК: увеличение инвестиций и рост производства продукции животноводства. Электронный ресурс <https://www.zakon.kz/4998370-realizatsiya-poslaniya-prezidenta-rk-v.html>. (дата обращения: 10.12.2019 г.).
2. Соколова А.Я. Основы расчета и конструирования машин и автоматических пищевых производств // Издательство «Машиностроение» Москва 1969. - 637 с.
3. Пелеев А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. - М.: Пищевая промышленность, 1971. - 328 с.
4. Леонтьева А.И. Машины и аппараты химических производств: учеб. пособие. - Тамбов: ТГТУ, 1991. - 104 с.
5. Greenspan H. P. The theory of rotating fluids. Cambridge at the university press, 1968. - P. 3-27.
6. Horanyi R. and Nemeth J. Theoretical Investigation of the clarification process in a tube centrifuge. «Acta Chemica Academiae Scientiarum Hungarica», 69 (1) 1971. - P. 59-75.
7. Уразбаев Ж.З., Уалиев С.Н., Какимов А.К., Кабулов Б.Б. Основы механической обработки сырья животного и растительного происхождения и технологии производства комбинированных мясных продуктов: монография. – Семей: Семипалатинский государственный университет имени Шакарима, 2010.- 260 с.
8. Шаменов М.Е., Касенов А.Л. Центрифуга для разделения жировой массы // «Стратегия развития пищевой и легкой промышленности»: материалы международной научно-практической конференции. – Алматы: АТУ, 2004. – С. 156-157.

9. Еренгалиев А.Е., Паримбеков З.А., Шаменов М.Е. Определение эффективности очистки суспензий при использовании центрифуг // Вестник Семипалатинского государственного университета имени Шакарима. – Семей: Семипалатинский государственный университет имени Шакарима, 2010. №1. С. 80-83.

10. Шаменов М.Е., Касенов А.Л., Туменов С.Н. Обработка жировой массы на центрифугах // «Стратегия развития пищевой и легкой промышленности»: материалы международной научно-практической конференции. – Алматы: АТУ, 2004. – С. 323-325.

11. Шкоропад Д.Е. Центрифуги для химических производств. - М.: Машиностроение, 1987. 256 с.

12. Шкоропад Д. Е., Новиков О. П. Центрифуги и сепараторы для химических производств. - М.: Химия. 1987. - 256 с.

13. Патент 35832, Казахстан, МПК 51 В02С 18/36 (2006.01). Центрифуга для разделения жидких неоднородных систем // Шаяхметова М.К., Касенов А.Л., Ибрагимов Н.К. РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности». бюл. № 45 – 09.09.2022. - 4 с.

М.К. Шаяхметова^{1*}, А.Л. Касенов², А.К. Шаяхметова¹, Б.А. Лобасенко⁴

¹НАО «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан

²НАО «Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина», Астана, Казахстан

³Кемеровский государственный университет, Кемерово Россия

Оңтайландыру кезіндегі критерийлік теңдеу сүзгі центрифугасының жұмыс режимдері

Аңдатпа. Қазақстан Республикасында орта және шағын кәсіпорындарды дамытудың басым бағыттарының бірі шикізатты қалдықсыз қайта өңдеу технологияларын енгізу болып табылады. Мұндай өндірістердің қатарына орта және шағын ет өңдеу кәсіпорындары жатады. Ет өнімдерінің қалдықсыз технологиясын жетілдіруде құрғақ жем өндірісі басқа жемшөп өнімдерінен сапасы жағынан жоғары болғандықтан, соңғысы тағамдық құндылығына байланысты үлкен сұранысқа ие. Құрғақ мал азығын өндіруде центрифугалау процесі майды шквардан бөлу үшін қолданылады. Майдың бөлінуінде центрифугалау процесін қолдану шквар нәтижесінде пайда болатын майдың сапасы престоу және экстракция процестеріне қарағанда едәуір жоғары болады.

Ет өңдеу өндірісін дамыту қажеттігін ескере отырып, жабдықтың меншікті энергия шығынын азайтудың және өнім өндіру көлемін ұлғайтудың өзіндік мүмкіндіктерін көздейтін тепкіш жабдықта сұйық гетерогенді жүйелерді бөлу процесін жетілдірудің маңызы зор. Мақалада басты зерттеу бағыты ретінде орныққан тәжірибе, мәліметтердің физика-математикалық сипаттары қолданылып, нәтижесінде техника-экономикалық позицияда оңтайлы жұмыс режимі таңдалды. Сонымен қатар, зерттеудің қолданбалы маңызы анықталды.

Түйін сөздер: процесс, технология, техникалық-экономикалық оңтайландыру, центрифуга, модель, өндіріс, критерийлік теңдеулер.

M. Shayakhmetova¹, A. Kasenov², A. Shayakhmetova¹, B. Lobosenko⁴

¹NAO «Shakarim Semey University», 071412, Kazakhstan, Semey, Glinka str. 20A.

²NAO «S.Seifullin Kazakh Agrotechnical University», 010011, Kazakhstan, Astana Zhenis avenue, 62

³Kemerovo State University, 20-a Glinka str., Kemerovo, 0714, Russia

The criterion equation for optimizing the operating modes of the filter centrifuge

Abstract. In the Republic of Kazakhstan, one of the priority areas for the development of medium and small enterprises is the introduction of waste-free processing of raw materials. These industries include medium and small meat processing enterprises. In improving the waste-free technology of meat products, the production of dry feed is in high demand due to the high nutritional value of the latter, which often surpasses other feed products. In the production of dry animal feed, the centrifugation process is used to separate the fat from the flakes. The use of the centrifugation process in the separation of fat from the pulp leads to the fact that the quality of the fat released is significantly higher than in the pressing and extraction processes.

Taking into account the needs of the development of meat processing production, it is of great importance to improve the separation process of liquid heterogeneous systems on centrifugal equipment, which provides for a reduction in the specific energy consumption of equipment and its own opportunities to increase production volumes.

Keywords: process; technology; technical and economic optimization; centrifuge; model; production; criteria equations.

References

1. Elektronnyj resurs Realizaciya Poslaniya Prezidenta RK v APK: uvelichenie investicij i rost proizvodstva produkci zivotnovodstva [Electronic resource Implementation of the Message of the President of the Republic of Kazakhstan in the agro-industrial complex: increased investment and growth of livestock production] <https://www.zakon.kz/4998370-realizatsiya-poslaniya-prezidenta-rk-v.html>. (10.12.2019). - [in Russian]
2. Sokolova A. Ja. Osnovy rascheta i konstruirovaniya mashin i avtomaticheskikh pishhevyyh proizvodstv [Fundamentals of calculation and design of machines and automatic food production] // Izdatel'stvo «Mashinostroenie» Moskva (1969). - 637 s. - [in Russian]
3. Peleev A. I. Tehnologicheskoe oborudovanie predpriyatij mjasnoj promyshlennosti. [Technological equipment of meat industry enterprises]- M.: Pishhevaja promyshlennost', (1971). - 328 s. - [in Russian]
4. Leonteva A. I. Mashiny i apparaty himicheskikh proizvodstv. [Chemical production machines and apparatuses] Ucheb. posobie. Tambov: TGTU, (1991). - 104 s. - [in Russian]
5. Greenspan H. P. The theory of rotating fluids. Cambridge at the university press, (1968). - P. 3-27
6. Horanyi R. and Nemeth J. Theoretical Investigation of the larification process in a tube centrifuge. «Acta Chemica Academiae Scientiarum Hungarical», 69 (1) (1971). - P. 59-75.
7. Urazbaev Zh. Z., Ualiev S. N., Kakimov A. K., Kabulov B. B. Monografija. Osnovy mehanicheskoy obrabotki syrja zivotnogo i rastitelnogo proishozhdenija i tehnologii proizvodstva kombinirovannyh mjasnyh produktov. [Fundamentals of mechanical processing of raw materials of animal and vegetable origin

and technology of production of combined meat products] - Semej, Semipalatinskij gosudarstvennyj universitet imeni Shakarima, (2010).- 260 s. - [in Russian]

8. Shamenov M.E., Kassenov A.L. Centrifuga dlja razdelenija zhirovoj massy [Centrifuge for separation of fat mass] // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. «Strategija razvitiya pishhevoj i legkoj promyshlennosti» – Almaty: ATU, (2004). – S. 156-157. - [in Russian]

9. Erengaliev A.E., Parimbekov Z.A., Shamenov M.E. Opredelenie effektivnosti ochistki suspenzii pri ispolzovanii tcentrifug [Determination of the efficiency of cleaning suspensions using centrifuges] // Nauchnyj zhurnal «Vestnik Semipalatinskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima» – Semej: Semipalatinskij gosudarstvennyj universitet imeni Shakarima. (2010). №1. S. 80-83. - [in Russian]

10. Shamenov M.E., Kassenov A.L., Tumenov S.N. Obrabotka zhirovoi massy na tcentrifugakh [Processing of fat mass on centrifuges] // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. «Strategija razvitiya pishhevoj i legkoj promyshlennosti» – Almaty: ATU, (2004). – S. 323-325. - [in Russian]

11. Shkoropad D.E. Tcentrifugi dlja khimicheskikh proizvodstv. [Centrifuges for chemical production] M.: Mashinostroenie, (1987). 256 s. - [in Russian]

12. Shkoropad D. E., Novikov O. P. Tcentrifugi i separatory dlja khimicheskikh proizvodstv. [Centrifuges and separators for chemical industries] - M. : Khimiia. 1987. - 256 s. - [in Russian]

13. Pat. 35832, Kazakhstan, MPK 51 V02S 18/36 (2006.01). Tcentrifuga dlja razdeleniia zhidkikh neodnorodnykh sistem [Centrifuge for separation of liquid heterogeneous systems] // Shayakhmetova M.K., Kassenov A.L., Ibragimov N.K., RGP «Natsionalnyi institut intellektualnoi sobstvennosti» biul. № 45 – (09.09.2022). - 4 s. - [in Russian]

Сведения об авторе (авторах):

Шаяхметова М.К. – докторант, Некоммерческое акционерское общество «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан.

Касенов А.Л. – доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, Астана, 10000, Казахстан.

Шаяхметова А.К. – магистр, Некоммерческое акционерское общество «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан.

Лобасенко Б.А. – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский Государственный университет» (КемГУ), 650000, Россия, г. Кемерово.

Шаяхметова М. К. – "Технологиялық жабдық және машина жасау" кафедрасының докторанты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің коммерциялық емес акционерлік қоғамы, 070000, Қазақстан

Қасенов А.Л. – техника ғылымдарының докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, 10000, Нұр-Сұлтан

Шаяхметова А.К. – магистр, "Технологиялық жабдық және машина жасау" кафедрасының оқытушысы, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің коммерциялық емес акционерлік қоғамы, 070000, Қазақстан

Лобасенко Б.А. – техника ғылымдарының докторы, "өнеркәсіптік дизайн" кафедрасының профессоры, "Кемерово мемлекеттік университеті" ФГБОУ (Кемму), 650000, Ресей, Кемерово қ.

Shayakhmetova M.K. – Doctoral student of the Department "Technological Equipment and Mechanical Engineering", Non-profit Joint-stock Company of the Shakarim University of Semey, 070000, Kazakhstan

Kasenov A.L. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh Agrotechnical University named after S.Seifullin, Nur-Sultan, 10000, Kazakhstan

Shayakhmetova A.K. – Master's degree, lecturer of the Department "Technological Equipment and Mechanical Engineering", Non-profit Joint-stock Company of the Shakarim University of Semey, 070000, Kazakhstan

Lobasenko B.A. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Industrial Design, Kemerovo State University (KemSU), 650000, Russia



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



IRSTI 73.29.61
Scientific article

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-151-157>

New methods of train traffic control

A.S Aitkhozhina¹, A.B. Orazalina², G.B. Baiguzhina³

^{1,2,3} L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

(E-mail: ¹aiman.enu@yandex.kz, ²orazalina_aida@list.ru, ³gul_8989@mail.ru)

Abstract. This article is written about a new concept of train traffic control. A topic of significant relevance in the field of organisational and safety aspects of train traffic.

The existing system of train traffic control is based on the principles of application of field devices railway automation, and depending on their state driver provides movement or stopping of the train. Also on the monitoring panels, which are located in the control center, describes the state of floor devices, by them train dispatcher keeps track only the approximate location of the train.

ETCS is based on the idea of continuous monitoring of the transport process using a combination of various technical means, thereby achieving a safe reduction in the transit interval, which means an increase in throughput. The ETCS is based on determining the location of the train, calculating the distance between trains, controlling the maximum permissible speed on the section, calculating the braking curve (depending on the speed over the distance traveled), comparing route data with the technical characteristics of the train.

The requirements for ETCS devices are strict parameters of the accuracy of the navigation system: the error in determining the location of the eurobalance should not exceed ± 1 m, and the error of the odometers should not exceed $\pm 5\%$ of the distance traveled.

Keywords: transport, management, traffic control, infrastructure, automatics.

1. Introduction

This system can determine the exact location of the train, and also provide information to the driver about of the train`s location and speed of the route of the previous train. In addition, the existing system does not allow for the remote stop of the train in the acute necessity of it (for example, if something happens to the locomotive driver or at any possibility of an emergency situation). Thus, under the current system, controlled the field devices, not the train, that does not give possibility to provide sufficient security and efficiency of the organization of movement of trains, and also restrict the use of the throughput of the railway stations and speed route of the mobile units. Such a principle of train traffic control, until recently, was applied on the railway transport of almost all countries. And in connection with the fact that in general, each state uses its technology and equipment, operating in various standards that are not compatible between themselves, there are border issues, which are important for the organization of international and transit traffic.

It is known that one of the important indicators of railway transport is the capacity of the backbone network, which in turn depends on the applied system of the interval regulation of the traffic. And when the throughput of the railway reached its maximum use, there is a necessity of construction of the second ways. Specialists know that the regulation of movement of trains on a particular division carries out the train dispatcher with the help of various means of railway automatics, telemechanics and communication, technical opportunities which largely determine the carrying capacity of the site. Today on the railways of Kazakhstan for this purpose is used the technique and technology were developed in 50-60 years of the last century. In this case, even introduced in 2007 in the areas of the backbone network of new technology of production of the CIS countries is no different in principle of their action on the existing, except for the advanced element bases of individual nodes.

2. Methods

In this regard it should be noted that the current system of the management of train traffic has reached its limit opportunities, and further increase of throughput of the railway sections, security level, speed of movement of trains, as well as the efficiency of the rolling stock usage becomes impossible without a radical revision of the existing system of train traffic control. In addition, the integration of the economies of different countries, the rapidly growing volume of transportations of cargoes and passengers, traveling in interstate communication, developing competition in the market of transport services, forcing the railway administrations of the different States to rethink methods of work in all areas of the railway transport and require the building of a unified system of control of movement of trains within the borders of many States [1].

3. Results and discussions

The solution of these problems has become one of the most important tasks of the International Council of Railway transport (UIC) in the framework of which has carried out certain work with allowance for the mobilization of the potentials of the leading companies and scientists of the world in the field of railway transport on the search for the answer on these issues.

As a result, was developed a new concept of train traffic control, which fundamentally differs from the present and corresponds to the requirements put forward by the Commission of the UIC. Today, more than 30 countries, including China, support this concept. And member states of the European Union define concrete terms, during which they will need to build a unified system of control of movement of trains. Work is carried out in the framework of the project for the creation of the European system of control of transportation process on the Railways (ERTMS), initiated in 1995 by the European Commission. The basis of this project is the system of management and safety of movement of trains ERTMS/ETCS. In this regard, countries such as Germany, Belgium, Spain, Finland, Norway and others already have concrete results, and countries such as China, India, Turkey and Russia are doing some work [2].

The proposed concept is based on the principles of the direct control of a moving object (without the use of traditional floor devices). The question of transition to the organization of the movement of trains through the onboard system of mobile units instead of the traffic management system through the floor of the device, stood before the world community for a long time. This problem were occupied by the scientists of many countries. One of the most important aspect in the decision of this task was to find ways to install a reliable and secure connection with the moving object regardless of the speed of its movement, which could ensure permanent monitoring and management of the object. Solution of the problem became possible only with the advent of modern telecommunications technology.

After a thorough study, research and comparative analyses in the field of telecommunication technologies, the most suitable for the organization of communication with moving objects, experts agreed the standard GSM, on the basis of which was developed specialized for railway transport system of mobile communication - GSM-R (here «R» means railway from the German word - Railways).

GSM-R is a complex system with wide range of possibilities and a set of the specialized for railway transport applications, implementation of which will allow to raise to a new level of quality, both the organization of the transportation process, and in the whole system of management of the company. Today, the Commission recommends that the UIC system GSM-R as an international standard system for the implementation of transition of Railways to the new principle of train traffic control.



Figure 1 ETCS floor devices: eurobalises (between rails) and wheelset counting device (fixed on rail), Erfurt — Leipzig line, Germany

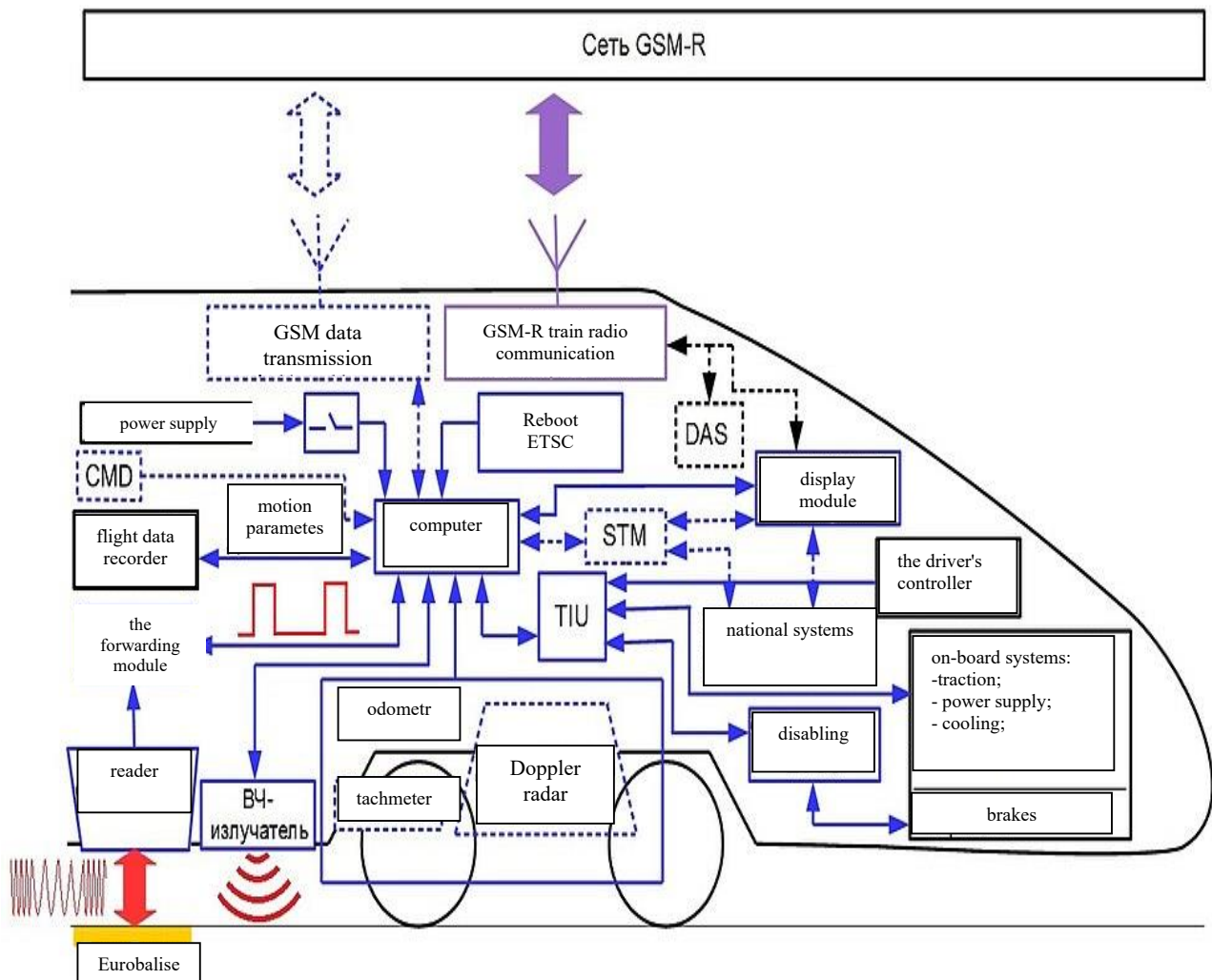


Figure 2 Block diagram of elements of on-board equipment of rolling stock equipped with ETCS

Implementation of the new concept of train traffic control demanded the solution of another important problem which related to the development of a universal international alarm system and a safety of movement of trains (ETCS).

Thus, we can stress that in order to realize a new concept of train traffic control is necessary to construct a system of GSM-R and implement a system to ensure the safety of movement of trains, stipulated by the project ETCS.

It is necessary to note, that the transition to the new principle of organization of movement of trains will in order to increase throughput of the railway lines and to revise the expediency of the construction or extension of second tracks and longitudinal transmission lines in some areas of the backbone network. And this, in turn, will contribute to the reduction of capital investments in the infrastructure of the backbone network of the railway transport and reduce the cost of transportation.

Given that the Commission recommends that the UIC developed the concept in the quality of the international and Kazakhstan strives to join the composition of the UIC, it will be necessary for this question to determine its position and our Republic, which has a specific policy of reforming of railway transport of the country [3].

In addition, the geographical position of Kazakhstan in the center of Asia attaches great importance to occupy the best positions in the market of cargo and passenger traffic. All of this obliges railway administrations of Kazakhstan to take the necessary measures, aimed at improving the safety, reliability, and commercial attractiveness of the railway transport.

It is clear that the successful solution of these problems will largely depend on the proper technical policy and the degree of compliance with international standards and norms in the selection of new equipment and technologies for implementation in the industrial economy of railway transport.

4. Conclusions

The specialists of JSC «NC «Kazakhstan Temir zholy» studied the details of the above mentioned systems and developed the possible options for implementing projects in the conditions of JSC «NC «Kazakhstan Temir zholy». In addition, meetings were organized with the developers of the systems and the leaders of projects for the implementation of GSM-R on the German Railways.

Back in March 2017, a working meeting of the management of JSC NC "Kazakhstan Temir Zholy" with representatives of the International Union of Railways (UIC) took place. The parties discussed the interest of JSC NC KTZ in the use of automatic wheelset width change systems at border crossings and the project of equipping locomotives with diagnostic devices for track infrastructure and contact network. In addition, the participation of JSC "NC "KTZ" in UIC research projects and the development of unified railway standards, as well as the experience of operating railway transport in difficult climatic conditions and improving its energy efficiency were considered.

Author contribution:

A.A. Aitkhozhina – concept, methodology, resources, data collection.

A.B. Orazalina – interpretation, editing.

G.N. Baiguzhina – modeling, analysis, visualization.

References

1. Kazakhstan Railways - November 27, 2022;
2. Cooperation of Kazakhstan railways with UIC. JSC "NC "Kazakhstan Temir Zholy" with representatives of the International Union of Railways (UIC) - zdmira.com/news/sotrudnichestvo-zheleznykh-dorog-...
3. International Union of Railways - Russian Railways- [<url>](#) (Internet portal). Editorial board of the magazine "RZD-Partner" (December 1, 2015).

А.С. Айтхожина¹, А.Б. Оразалина², Г.Н. Байгужина³

^{1,2,3}Евразийский национальный университет имен Л.Н. Гумилева, г.Астана, Казахстан

Новые методы управления движением поездов

Аннотация. Тема данной статьи о новой концепции управления движением поездов очень актуальна в области организации, безопасности движения поездов.

Существующая система управления движением поездов основана на принципах применения напольных устройств железнодорожной автоматики, и в зависимости от их состояния машинист осуществляет движение или остановку поезда. Также на контрольных приборах, находящихся в диспетчерском центре, отражается состояние напольных устройств, по которым поездной диспетчер отслеживает только ориентировочное место нахождения поезда.

В основу работы ETCS положена идея непрерывного контроля перевозочного процесса с помощью совокупности различных технических средств, благодаря чему достигается безопасное уменьшение интервала попутного следования, а значит, увеличение пропускной способности. Действие ETCS основано на определении местоположения поезда, вычислении расстояния между составами, контроле максимально разрешённой скорости на участке, расчёте кривой торможения (зависимости скорости от пройденного пути), сопоставлении данных о маршруте с техническими характеристиками поезда.

К устройствам ETCS предъявляются строгие параметры точности работы системы навигации: погрешность определения местоположения евробализы не должна превышать ± 1 м, а погрешность одометров не должна превышать ± 5 % от пройденного пути.

Ключевые слова: транспорт, менеджмент, управление дорожным движением, инфраструктура, автоматика.

А.С. Айтхожина¹, А.Б. Оразалина², Г.Н. Байгужина³

^{1,2,3}Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Пойыз қозғалысын басқарудың жаңа әдістері

Аңдатпа. Мақала пойыз қауіпсіздігі саласында өзекті болып табылатын негізгі мәселелерді талдап, көлік қозғалысын басқарудың жаңа тұжырымдамасын ұсынады.

Қолданыстағы пойыздардың қозғалысын басқару жүйесі теміржол автоматикасының едендік құрылғыларын қолдану принциптеріне негізделген және олардың жағдайына байланысты машинист пойыздың қозғалысын немесе аялдауын жүзеге асырады. Сондай-ақ, диспетчерлік орталықтағы бақылау аспаптарында поезд диспетчерінің поездың болжамды орналасқан жерін қадағалайтын еден құрылғыларының жай-күйі көрсетіледі.

ETCS жұмысының негізі әртүрлі техникалық құралдардың жиынтығы арқылы тасымалдау процесін үздіксіз бақылауына негізделген. Соның нәтижесінде жол жүру аралығы қауіпсіздігін азайтуға, яғни өткізу қабілетін арттыруға қол жеткізіледі. ETCS әрекеті пойыздың орналасқан жерін анықтауға, құрамдар арасындағы қашықтықты есептеуге, учаскеде рұқсат етілген ең жоғары жылдамдықты бақылауға, тежеу сызығын есептеуге (жылдамдықтың өткен жолға тәуелділігі), маршрут туралы мәліметтерді пойыздың техникалық сипаттамаларына сәйкестендіруге негізделген.

ETCS құрылғыларына қойылатын талаптар, навигация жүйесі жұмыс дәлдігінің қатаң параметрлері бар: еуробализдің орналасу қателігі ± 1 м-ден аспауы керек, ал одометрлердің қателігі өткен жолдың $\pm 5\%$ - нан жоғарыламауы тиіс.

Түйін сөздер: көлік, менеджмент, жол қозғалысын басқару, инфрақұрылым, автоматика.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Казахстанские железные дороги - 27 ноября 2022 ж.;
2. Сотрудничество Казахстанских железных дорог с МСЖД. ... АО "НК "Қазақстан темір жолы" с представителями Международного союза железных дорог (МСЖД) - zdmira.com "новости/сотрудничество-железных дорог.
3. Международный союз железных дорог, РЖД-Партнёр.ру (интернет-портал). Редакция журнала «РЖД-Партнёр» (1 декабря 2015).

Сведения об авторе (авторах):

A.A. Aitkhozhina, master, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Street Satbaev, 2, Astana, Kazakhstan

A.B. Orazalina, master, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Street Satbaev, 2, Astana, Kazakhstan

G.N. Baiguzhina, master, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Street Satbaev, 2, Astana, Kazakhstan

A.C. Айтхожина - магистр, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, улица Сатпаева, 2, Астана, Республика Казахстан

A.B. Оразалина - магистр, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, улица Сатпаева, 2, Астана, Республика Казахстан

G.N. Байгужина - магистр, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, улица Сатпаева, 2, Астана, Республика Казахстан

A.C. Айтхожина - магистр, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ.Сәтбаев көшесі 2, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы

A.B. Оразалина - магистр, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ.Сәтбаев көшесі 2, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы

G.N. Байгужина - магистр, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ.Сәтбаев көшесі 2, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 67.21

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-158-176>

Обзорная статья

Обзор использования уреолитических бактерий в процессе биоцементации грунта

Ж.Т. Кусбергенова*¹, А.С. Тулебекова¹, И.Т. Жумадилов²

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан

²Shakarim University, Семей, Республика Казахстан

(E-mail: zhkusbergenova@gmail.com)

Аннотация. На сегодня применяются различные методы по улучшению свойств почв - грунтов, однако ученые занимаются постоянным поиском альтернативной методики, способной улучшить состояние почвы - грунта с минимальным нарушением экологии, сокращением негативного воздействия на экосистему и ее сохранением. Биоцементация, осуществляемая различными микроорганизмами, при заданных условиях отвечает всем указанным требованиям. В данной статье приводится обзор предлагаемых методов биоцементации с использованием бактерий, способных продуцировать уреазу путем микробно-индуцированного осаждения карбонатов. Хотя многочисленные исследования в лабораторных условиях показали успех процесса биоцементации как экологически безопасного метода строительства, применение этой стратегии на практике и в полевых условиях до сих пор остается нерешенной проблемой. Это вызвано двумя основными трудностями: во-первых, биоцементация является сложным явлением, зависящим от множества факторов, во-вторых, в научной литературе рассматриваются различные виды микроорганизмов и различные условия, что приводит к разнообразию результатов. Представленная работа позволяет изучить последние достижения в применении широко распространенных бактерий *Sporosarcina pasteurii*, *Bacillus cereus* и *Bacillus paramycoides*. Также в работе определены направления для будущих исследований с целью расширения применения данного способа.

Ключевые слова: биоцементация, микроорганизмы, *Sporosarcina pasteurii*, *Bacillus cereus*, *Bacillus paramycoides*.

1. Введение

В последние десятилетия все чаще возникает необходимость использования экологически безопасных методов укрепления грунтов, особенно без ущерба для местной инфраструктуры. В связи с этим значительное развитие получили методы улучшения грунтов с использованием технологий биоцементации [1]. Одним из преимуществ биоцементации является использование различных видов микроорганизмов, а также специфических ферментов, получаемых из этих микроорганизмов. В настоящее время популярен метод микробно-индуцированного осаждения карбоната кальция, заключающийся в биохимическом процессе осаждения кристаллов карбоната кальция (CaCO_3) под воздействием активной деятельности уреолитических бактерий в результате гидролиза мочевины (уреолиза), протекающего в окружающей среде [2]. Наиболее эффективен этот метод с использованием бактерии *Sporosarcina pasteurii*. Наряду с этим, проведены испытания с бактериями *Bacillus pasteurii*, *Bacillus Cereus* и *Bacillus Megaterium*, а также ферментами, выделенными из растений, таких, как бобы Джека и соя [3].

Sporosarcina pasteurii имеет способность образовывать эндоспоры - неактивные структуры, которые образуются бактериями в условиях недостатка питания [4]. Эндоспоры позволяют бактериям находиться в состоянии покоя в течение длительного времени, выдерживая экстремальные условия, такие, как ультрафиолетовое излучение, высушивание, высокие температуры, низкие температуры и химические дезинфицирующие средства, пока окружающая среда не станет благоприятной для их активации [4]. Эта особенность повышает выживаемость *S. pasteurii* во враждебных средах и позволяет регулировать метаболические процессы в соответствии с потребностями инженеров. *Sporosarcina pasteurii* является щелочной бактерией и лучше всего растет в щелочной среде с pH от 9 до 10, но может выживать и в умеренно жестких условиях с pH до 11,2, что делает ее подходящим компонентом добавки для использования в строительстве [3].

Бактерия *Sporosarcina pasteurii* притягивает ионы Ca^{2+} , которые обеспечивают нормальное функционирование жизненных процессов бактерии. То количество ионов, которое не будет использовано в метаболических процессах, осаждается на внешней поверхности клеточной стенки. После добавления среды, содержащей, в частности, мочевины, происходит ее гидролиз - мочевина гидролизуеться до аммония и углекислого газа (с образованием ионных форм NH_4^+ и CO_2^-). Реакция ионов кальция, осажденных на клеточной стенке (Ca^{2+}), с ионом CO_2^- приводит к выпадению CaCO_3 и, таким образом, к цементированию почвы - грунта [5].

Осаждение карбоната кальция в природе происходит химическим путем в результате изменения параметров окружающей среды, но значительная его часть образуется биогенным путем в процессе биоминерализации при участии живых организмов. Карбонат кальция может встречаться в двух разновидностях - в виде кальцита или арагонита. Это минералы с одинаковым химическим составом, но различное пространственное строение обуславливает их разные физические и химические свойства [5].

Процесс осаждения карбоната кальция в искусственных условиях состоит из нескольких этапов, включая образование зародышей, затем их преобразование и последующий рост кристаллов. В результате этих процессов могут образовываться различные формы карбоната кальция, включая трансформируемые (которые со временем могут изменить свою кристаллическую структуру), нестабильные (формы, которые являются неустойчивыми и могут претерпевать изменения в более стабильные структуры со временем) и стабильные (представляющие собой термодинамически устойчивые конфигурации карбоната кальция), в зависимости от условий реакции (например, ромбический, аморфный кальцит, ватерит и другие). Форма карбоната кальция, полученная в результате микробиологического индуктивного процесса, может влиять на физические характеристики окончательного материала. Например, некоторые формы могут обладать большей твердостью или устойчивостью к сжатию по сравнению с другими [6]. Кроме того, стабильные формы карбоната кальция менее подвержены изменениям со временем, что делает их более прочными и устойчивыми к условиям окружающей среды, в то время как нестабильные формы могут претерпевать фазовые превращения, что может повлиять на стабильность и долговечность затвердевшего материала. Метод микробно-индуцированных карбонатных осадков (МИКП), осуществляемый специфическими бактериями, является интересной исследовательской темой для ученых и инженеров уже несколько десятилетий. Этот метод предлагает инновационные решения для различных инженерных проблем, связанных с человеческой деятельностью [7].

Целью настоящего исследования является проведение анализа применения уреолитических бактерий: *Sporosarcina pasteurii*, *Bacillus pasteurii*, *Bacillus Cereus* и *Bacillus Megaterium* на основе лучших практик. Основная проблема в рассматриваемой технологии МИКП состоит в определении параметров, необходимых для установления порядка взаимодействия бактерий, таких, как температура, концентрация мочевины, соотношение используемых добавок и определение оптимальной влажности грунта для роста бактерий и их дальнейшей реакции.

2. Анализ уреолитических бактерий, используемых при биоцементации методом МИКП

При выборе подходящего бактериального агента для использования в процессе МИКП следует отдавать предпочтение эндоспорообразующим уреазопродуцирующим бактериям, которые обладают высоким потенциалом выживания в щелочной среде и устойчивостью к экстремальным условиям. С другой стороны, успеху уреолитических бактерий в процессе МИКП способствуют такие факторы окружающей среды, как pH, размер и распределение частиц почвы - грунта, осмотическое давление, содержание воды и условия обработки, такие, как цементирующий раствор, концентрация бактерий и наличие подходящих питательных веществ [8].

Кроме того, согласно исследованиям Abdulaziz Dardau Aliyu и др. [9], температура играет важную роль в уреолитизе, поскольку при 30°C скорость разложения мочевины

повышается. Однако экстремальные температуры могут негативно влиять на активность микробной уреазы, а также на скорость образования и растворимость эндоспор. Кроме того, при pH ниже 5,0 фермент микробной уреазы может необратимо денатурироваться. Также стоит отметить, что концентрация мочевины выше 0,75 ммоль/л может подавлять уреолитическую активность бактерий, так как высокая транспортировка мочевины через клеточную мембрану может препятствовать другим клеточным процессам. В данном исследовании были отобраны десять образцов почвы - грунта из верхнего слоя на участке Ladang 15 сельскохозяйственного факультета Университета в Селангоре, Малайзия. В начале эксперимента образцы почвы - грунта были смешаны с физиологическим раствором, содержащим 8,5 г/л NaCl в дистиллированной воде, затем были подготовлены серийные разведения суспензий образцов (в 10 раз разбавленные) и каждое разведение было посеяно на агар с карбонатом кальция, состав исследуемой смеси представлен в таблице 1.

Таблица 1

Состав смеси, используемой в исследовании [9]

питательный агар	мочевина	NH ₄ Cl	NaHCO ₃	CaCl ₂	агар
3 г/л	20 г/л	10 г/л	2,12 г/л	25 г/л	20 г/л

Культуры были инкубированы при температуре 28°C ± 0,5°C и ежедневно оценивались в течение 7 дней. Колонии, появившиеся на агаре, были отобраны и пересеяны на состав, содержащий 3 г/л питательного агара, 20 г/л мочевины, 10 г/л NH₄Cl и 2,12 г/л NaHCO₃. В результате проведенных испытаний в почве - грунте фермерских хозяйств обнаружено наличие местных бактерий, способных производить уреазу. Среди шестнадцати изолятов уреолитических бактерий *Bacillus cereus* и *Bacillus paramycoides* проявили самую высокую активность уреазы и продолжали расти при щелочном pH.

Вместе с тем, в другом исследовании [10] данные ученые отмечают, что МИКП применяет природные характеристики бактерий, которые производят уреазу для осуществления гидролиза мочевины (уреолиза), пройдя через ряд сложных биохимических реакций при формировании продукта. Вместе с тем, метод МИКП может быть использован для разных типов грунтов, включая крупные просеянные пески и более мелкие. Однако его эффективность более выражена для крупных и хорошо просеянных песков. Также в исследовании отмечено, что количество осажденного CaCO₃ зависит от разной скорости выработки уреазы различными штаммами уреолитических бактерий. Кроме этого, установлено, что *Bacillus cereus* представляет собой более подходящую кандидатуру для использования в качестве компонента при биоцементации способом МИКП.

В работе [11] изучена возможность использования биочар-бактерий, полученных из рисовой соломы путем пиролиза. Сырье было подвергнуто сушке при 60 °C до полного высыхания, после чего было измельчено до размера, пропускаемого через сито с отверстием 0,15 мм. Затем произведен пиролиз при 300 °C в муфельной печи в течение 2 часов при ограниченном доступе воздуха. В целях инкубационного эксперимента

были подготовлены мензурки со 100 г сухого грунта, затем в каждый образец было добавлено 0,694 мг мочевины и 1,25 мг CaCl_2 для активации процесса МИКП. Также было добавлено 1 г биоугля (1% от общей массы) и 10 мл раствора бактерий, после чего все тщательно перемешивалось. Кроме того, в эксперимент включен грунт с добавлением 1% биочара и грунт без каких-либо добавок. В результате исследования использование комбинированной системы биочара и уреолитических бактерий привело к значительному снижению содержания экстрагируемого вещества в грунте по сравнению с отдельными системами биочара и бактерий. Также было замечено, что добавление бактерий привело к снижению подвижности в грунте, что в итоге привело к его укреплению.

Masaharu Fukue, Zbigniew Lechowicz и другие [12] исследовали бактерии взятые из аллювиальных грунтов Японии в 2008 г., показавшие сходство с *Sporosarcina pasteurii* на 93%. В качестве реактивов использовались мочевины, хлорид кальция, дистиллированная вода и аммиачный буфер. Максимальная концентрация Ca^{2+} составляла 1,0 М, а мочевины использовалась в концентрации 1,1 М, а также использовался аммиачный буферный раствор 20 мМ. В данном исследовании полученные результаты свидетельствуют о том, что содержание карбонатов увеличивается с ростом концентрации раствора. С другой стороны, было отмечено, что увеличение концентрации Ca^{2+} приводит к снижению содержания карбонатов из-за эффекта замедления. Однако такая замедленная реакция способствует увеличению прочности грунта в случаях, когда нет необходимости получения результата в короткие сроки.

Группа ученых [13] выращивали *Sporosarcina pasteurii* в среде, состоящей из 20,0 г дрожжевого экстракта, 10,0 г NH_4 и 800 мл трис-буфера в 100 мл дистиллированной воды. Среда для культивирования бактерий создавалась при pH 9,0, что идеально подходит для роста *S. pasteurii*. После этого бактерии переносили в бульон, находящийся в инкубаторе, при температуре 30 С и далее встряхивали при 200 об/мин в аэробных условиях в течение 3 дней. Результаты исследования показали увеличение прочности грунта, обработанного сидеритом и высокомолибденовым кальцитом/доломитом, по сравнению с грунтами, обработанными кальцитом/ватеритом и нескегонитом.

В работе [14] исследователи провели серию лабораторных исследований по изучению влияния *Sporosarcina pasteurii* на грунт, загрязненный цинком, а также рассмотрели сроки твердения, установили закономерность развития микроструктур и выявили механизм стабилизации грунта. При этом грунт был взят со склона нарезного канала в северном Синьцзяне (Китай), культурная среда состояла из питательного бульона в пропорции 20 г/л плюс мочевины с pH 8,0, а цементирующий раствор состоял из CaCl_2 и мочевины. Затем в течение 7 дней в приготовленном растворе измеряли рост бактерий, уреазную активность и образование кальцита. Обнаружено, что использование микробных осадков карбоната кальция существенно уменьшает концентрацию растворения ионов цинка в грунте, загрязненном Zn, примерно до 20 мг/л. Наиболее значительный эффект стабилизации загрязненного грунта, обработанного МИКП, будет достигнут при следующих условиях: время твердения образцов 28 дней, концентрация цементирующего раствора 1 моль/л и соотношение цементирующих растворов 1:2. Эти

условия обеспечат необходимые механические свойства, герметичность и способность удерживать токсичные вещества в грунте, исключая тем самым нанесения вреда окружающей среде.

В статье [15] цементирующий раствор был приготовлен из смеси мочевины и хлористого кальция в соотношении 1:1 с использованием *Sporosarcina pasteurii*. Концентрация этих компонентов в растворе составляла 1 моль/л. Мочевина служила источником азота и энергии для бактерий, а хлорид кальция - источником кальция для процесса МИКП. Растворение мочевины в воде является эндотермической реакцией, а растворение хлорида кальция в воде – экзотермической, поэтому перед смешиванием растворов их необходимо было отдельно оставить до достижения комнатной температуры. Данные результаты указывают на то, что влияние температуры на различные процессы может быть различным и не всегда однозначным. Также выявлено, что скорость образования CaCO_3 и скорость конверсии Ca^{2+} сначала увеличиваются с повышением температуры, вероятно, из-за активации химических реакций и повышенной подвижности молекул. Однако при более высоких температурах скорости этих процессов начинают снижаться, возможно, из-за утомления или денатурации ферментов, ответственных за эти реакции. С другой стороны, скорость адгезии бактерий постоянно увеличивалась с повышением температуры. Это может быть связано с изменением поверхностных свойств бактерий или с повышенной подвижностью молекул бактерий. Скорость поглощения воды снижается с повышением температуры, что может быть связано с изменением физических свойств воды. Более высокая температура может способствовать быстрому испарению воды или изменению ее вязкости, что затрудняет поглощение воды. Кристаллы CaCO_3 , образовавшиеся при разных температурах, могут иметь различную структуру или размер. Осадки карбоната кальция заполняют пустоты между частицами песка, эффективно уменьшая коэффициент пустотности и уплотняя песчаный грунт. Это также снижает эрозию и оказывает положительное влияние на окружающую среду, так как является естественным и экологически чистым методом улучшения различных геотехнических свойств грунта.

В исследовании [8] установили, что в сравнении с обычными методами химического цементирования, применение бактерий и цементирующих растворов по технологии МИКП характеризуется более низкой вязкостью. Это облегчает проникновение *S. pasteurii* в грунтовые материалы, позволяя осуществлять более глубокое и плотное цементирование. Кроме того, материалы, улучшенные с использованием МИКП, обладают сохранением выдающихся механических и гидравлических свойств, что придает им продолжительную долговечность. Основным элементом процесса ферментативного гидролиза мочевины является катализаторическое воздействие уреазы, вырабатываемой определенными штаммами бактерий. Предполагается, что среди всех бактериальных штаммов, способных синтезировать уреазу, бактерия *Sporosarcina pasteurii*, извлеченная из грунта, является наиболее активным катализатором гидролиза мочевины. По сравнению с другими штаммами *Sporosarcina pasteurii* обладает более высокой адаптацией к окружающей среде. Кроме того, у *Sporosarcina pasteurii* отмечается высокая производительность и эффективность в

производстве карбоната кальция. При этом образование углекислых осадков может быть результатом разнообразных биологических или биоминерализационных процессов, таких, как уреолитиз, денитрификация, сульфатредукция и железоредукция. Ферментативный процесс гидролиза мочевины привлекает особое внимание из-за его высокой энергоэффективности, невысокой стоимости, возможности контроля реакции и простоты процесса сепарации и сбора продуктов. В частности, когезия грунта увеличивается благодаря цементации частиц грунта карбонатом кальция, что предотвращает возможность ее разрыхления.

Вместе с тем, исследователи [6] отмечают в своей работе, что перенос и распределение уреолитических *S. pasteurii* в насыщенных песчаных колонках значительно зависят от химического состава воды, скорости потока, плотности бактерий и времени, проведенного бактериями в грунте. Эта зависимость придает высокую степень сложности процессу перемещения и удержания бактерий в реальных полевых условиях как во времени, так и в пространстве. В свете этого, представленные результаты также указывают на возможность снижения использования *S. pasteurii* путем увеличения скорости потока. Это означает, что уменьшение количества бактерий в точке закачки может быть достигнуто путем увеличения скорости потока в данной точке. Это особенно важно, учитывая, что в условиях радиального потока скорость бактерий экспоненциально уменьшается с увеличением расстояния от точки закачки, что приводит к ремобилизации бактерий только вблизи скважины. Также возможны другие подходы, такие, как подача небольшого импульса воды с низким уровнем индекса насыщенности для мобилизации *Sporosarcina pasteurii* в объеме, непосредственно окружающем нагнетательную скважину. Наряду с этим, в данном исследовании было выявлено, что введение раствора CaCl_2 с концентрацией 0,5 М, как это обычно практикуется в стратегиях микробиально-индуцированного цементирования (в частности, в составе цементирующего раствора), способствует стабилизации предварительно введенных бактерий. Это проявляется в ограничении повторного захвата клеток. В противоположность этому, введение деионизированной воды с гораздо более низкой ионной силой приводит к частичному расщеплению *S. pasteurii*. Вместе с тем, данное исследование информирует о способах эффективной доставки указанной бактерии в пористые среды.

Кроме этого, согласно работе Charalampos Konstantinou and Yuze Wang [16], факторами, влияющими на результат исследования, проведенного с использованием *Sporosarcina pasteurii* методом МИКП, являются количество химикатов, параметры окружающей среды и свойства гранулированной сети, т.к. большое количество частиц в заданном объеме приводит к увеличению числа точек контакта, что в итоге снижает нагрузку на каждую частицу. Еще одним выводом исследования является то, что средний диапазон оптических плотностей способствует более эффективному сцеплению частиц. Помимо того, в статье обсуждаются проблемы использования *S. pasteurii* для решения проблем рекультивации подземных вод, а также секвестрации загрязняющих веществ. При этом тяжелые металлы могут быть удалены с помощью МИКП через процессы биосорбции, совместного осаждения с Ca^{2+} или с образованием осадков CaCO_3 .

В исследовании [5] проводились испытания алевроитового грунта с использованием бактерии *Sporosarcina pasteurii* в целях оценки прочности грунта на сдвиг и определения

оптимальной влажности, при которой грунт может быть максимально уплотнен. Бактерии *Sporosarcina pasteurii* были выращены на жидком питательном бульоне с регулярным встряхиванием. Вместе с тем, для обогащения культуры использовались катионы кальция (Ca^{2+}) в форме $CaCl_2 \cdot 2H_2O$. Раствор с бактериями добавляли постепенно в грунт, распыляя его в небольших количествах, и затем тщательно перемешивали. В результате получился материал с оптимальной влажностью, из которого формировали образцы в форме цилиндра высотой 80 мм и диаметром 38 мм. Результаты проведенных испытаний указали на способность повышения прочности грунта до 50%. Наряду с этим, сделаны выводы о возможном использовании молочных отходов и ила цементных печей в качестве сырья для производства бактерий, используемых для биоцементации.

В статье [17] рассмотрено применение *Bacillus pasteurii*, приобретенной в Шанхайском центре сбора биоресурсов (Китай), со следующими компонентами: мочевины, триптон, пептон, хлорид натрия, порошок агара и вода в соотношениях, указанных в таблице 2. В ходе эксперимента был применен метод поэтапного введения, при котором бактериальный раствор наносился и выдерживался в течение 3 часов, далее раствор добавлен в цементирующую смесь четыре раза с интервалом в 16 часов. После последнего нанесения бактериального раствора цементирующий раствор был нанесен дважды. По итогам полного проникновения раствора образцы промыты чистой водой три раза с одинаковой скоростью, чтобы завершить реакцию микробного индуцированного карбонатного осаждения и удалить побочные продукты этого процесса. В результате эксперимента представлен новый подход к укреплению золотого песка путем комбинации базальтового волокна и технологии микробного осаждения кальцита. Данный метод в определенной степени увеличивает прочность песка, затвердевшего под воздействием микроорганизмов.

Таблица 2

Состав смеси, используемой в исследовании [17]

мочевина	триптон	пептон	хлорид натрия	порошок агара	вода
20 г/л	15 г	5 г	5 г	20 г	900 мл

В эксперименте [18] изучалось укрепление рыхлого песчаного грунта с помощью уреазы, производимой с использованием *Sporosarcina pasteurii*, для осаждения биоминералов, являющиеся формами ферментации. При этом механические характеристики песчаного столба были оценены с использованием сухой плотности, коэффициента проницаемости, содержания карбоната кальция и UCS. В качестве источника кальция был использован ацетат кальция, производимый из дешевых отходов известняка, а также 5 г/л пептона из сои, 15 г/л пептона из казеина, 5 г/л NaCl и 20 г/л мочевины, далее смесь культивировалась в течение 24 часов. Затем осадок, полученный после 5 мин центрифугирования при 8000 об/мин, добавляли в среду для ферментации (pH 8,0), состоящую из 15 г/л пептона из сои, 30 г/л порошка кукурузной мякоти, 3 г/л NaH_2PO_4 и 10 г/л мочевины, и далее культивировали в течение 48 часов. Согласно проведенному

анализу, были определены оптимальные условия процесса извлечения ацетата кальция из известняка и уксусной кислоты. Температура реакции составляла 55 °С, соотношение между твердой и жидкой фазами равнялось 1:14, а дозировка уксусной кислоты составляла 163%. При таких условиях был достигнут выход ацетата кальция в размере 96,81%. Отмечается, что известняк широко доступен и имеет низкую стоимость, причем затраты при использовании его в качестве источника кальция снижаются на 31,87% по сравнению с хлоридом кальция. Экспериментальные результаты также подтверждают, что известняк идеально подходит в качестве источника кальция для технологии МИКП при использовании песчано-твердого песка.

3. Результаты

В целом результаты использования уролитических бактерий в исследованиях показали эффективность их применения в процессе биоцементации грунта, при этом увеличение концентрации хлорида кальция влияет на рост карбонатов кальция. Наряду с этим, сделаны выводы о возможном использовании таких дополнительных компонентов, как биочар-бактерии, биоуголь, соя, дрожжевые экстракты, а также молочные отходы. Общие результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты исследований

Авторы статьи	Используемая бактерия	Компоненты исследуемой смеси	Результат исследования
Исследование 1 [9]	Bacillus cereus, Bacillus paramycoides	питательный агар, мочевины, NH ₄ Cl, NaHCO ₃ , CaCl ₂ , агар	Электронно-микроскопические изображения подтвердили, что осажденный CaCO ₃ как с использованием B. cereus, так и с применением B. paramycoides представлен в виде сгруппированных кристаллов. Интересно отметить, что агломерированные кристаллы CaCO ₃ , образованные B. paramycoides, напоминали кристаллы, вырабатываемые B. cereus. Очевидно, что эти кристаллы образовались вследствие избытка веществ в приготовленной среде, где бактериальная клеточная стенка служила местом для начала кристаллизации. В виду того, что процесс образования агломерированных кристаллов CaCO ₃ включает нуклеацию и рост уже существующих кристаллов, это приводит к образованию более крупных кристаллов CaCO ₃ . Также установлена способность B. cereus и B. paramycoides выживать при щелочном pH, а также их высокую уреазную активность, что способствует выпадению осадка карбоната кальция.

Исследование 2 [11]	Sporosarcina pasteurii	мочевина, CaCl ₂ , биоуголь, раствор биочар-бактерий	Основываясь на теории МИКП, исследователи разработали и протестировали систему 2В, сочетающую в себе биочар (В) и бактерии (В), чтобы изучить ее способность эффективно удерживать питательные вещества в почве. Применение системы 2В привело к значительному улучшению плодородия почвы, повышению уровня уреазы в ней, а также ее бактериальному разнообразию. Уреаза и NH ₄ ⁺ -N оказались ключевыми факторами, влияющими на состав и разнообразие бактерий.
Исследование 3 [12]	Sporosarcina pasteurii	мочевина, хлорид кальция, дистиллированная вода и аммиачный буфер	В ходе данного исследования было обнаружено, что уровень карбонатов в растворе увеличивается в результате увеличения концентрации хлорида кальция. Однако также было замечено, что увеличение содержания Ca ²⁺ приводит к уменьшению содержания карбонатов из-за замедленного эффекта. Таким образом, это явление рассматривается как ускорение процесса загрузки Ca ²⁺ , позволяющее определить зависимость роста кристаллов CaCO ₃ от содержания Ca ²⁺ .
Исследование 4 [13]	Sporosarcina pasteurii	дрожжевой экстракт, NH ₄ , трис-буфер, дистиллированная вода	Результаты продемонстрировали увеличение прочности грунта, обработанных сидеритом и кальцитом/доломитом по сравнению с грунтами, обработанными кальцитом/ватеритом и нескегонитом. Вместе с тем, установлены различия в размерах кристаллов, что, в свою очередь, влияет на инженерные свойства образцов, обработанных МИКП, такие, как проницаемость, жесткость и прочность. Различные карбонатные минералы осаждались путем добавления ионов Fe ²⁺ , Mg ²⁺ и Ca ²⁺ к растворам карбонатных ионов (CO ₃ ²⁻).
Исследование 5 [14]	Sporosarcina pasteurii	питательный бульон в виде мочевины с pH 8,0, а цементирующий раствор состоял из CaCl ₂ и мочевины	Обнаружено, что использование микробных осадков карбоната кальция существенно уменьшает концентрацию растворения ионов цинка в загрязненных грунтах. Обработка осадков карбоната кальция, вызванная микроорганизмами, изменяет соотношение напряжения и деформации загрязненной почвы от слаборазмягченного до сильно-размягченного типа. Прочность на сжатие обработанных образцов увеличилась на 187,2%~550,5%. Когезия обработанных образцов имеет значительную тенденцию к увеличению, в то время как угол внутреннего трения остается относительно стабильным. Обработка осадков карбоната кальция, вызванная микроорганизмами, может усилить механические свойства почв, загрязненных ионами цинка.

Исследование 6 [15]	Sporosarcina pasteurii	мочевина и хлористый кальций	Скорость образования CaCO ₃ , скорость преобразования Ca ²⁺ и прочность на сжатие без ограничения сначала увеличиваются, а затем уменьшаются с повышением температуры используемой смеси. Минералы CaCO ₃ , образовавшиеся при 20°C, были в основном зернистыми, с малым размером кристаллов и не имели фиксированной морфологии. Минералы CaCO ₃ образовавшиеся при 30°C, были в основном кубическими, а размер кристаллов был большим, чем при 20°C. По сравнению с CaCO ₃ , образовавшимся при комнатной температуре, скопление CaCO ₃ было более плотным, а зазор между соседними частицами песка был меньше, что подтверждает более плотную связь между частицами.
Исследование 8 [5]	Sporosarcina pasteurii	питательный бульон, катионы кальция	Данное исследования подтвердило экологическую безопасность технологии улучшения почв путем МИКП. Вместе с тем, результаты проведенных испытаний показали повышение прочности грунта с добавлением Sporosarcina pasteurii до 50%. Так, в частности, при нагрузке 200 кН несущая способность грунта составила 34,5%, для естественно цементированного грунта - 29,3%, а для биостабилизированного - 18,8%.
Исследование 9 [17]	Bacillus pasteurii	триптон, пептон, хлорид натрия, порошок агара, базальтовое волокно, очищенная вода и мочевина	В рассмотренном исследовании представлен новый подход к укреплению золотого песка путем комбинации базальтового волокна и технологии микробного осаждения кальцита. Кроме того, кристаллы CaCO ₃ продемонстрировали эффекты цементирования, заполнения и закрепления. Коэффициент несущей способности золотого песка повышался с увеличением сухой плотности, а прочность образцов при использовании Bacillus pasteurii в количестве 1,5 г/см ³ была значительно ниже, чем при 1,6г/см ³ .
Исследование 10 [18]	Sporosarcina pasteurii	пептон из сои, пептон из казеина, NaCl и мочевина	В эксперименте по фиксации песка с применением МИКП и известняка в качестве источника кальция механические показатели содержания карбоната кальция, сухой плотности и коэффициента проницаемости песчаного столба были лучше, чем у образцов с хлоридом кальция. Это объясняется различием кристаллических фаз карбоната кальция, производимого микроорганизмами в разных питательных средах, что приводит к разной прочности цементации между карбонатом кальция и частицами песка. Согласно анализу полученных в ходе испытания данных, оптимальные условия процесса извлечения ацетата кальция из известняка

			и уксусной кислоты были следующими: температура реакции составляла 55°C, соотношение твердой и жидкой фаз было 1:14, дозировка уксусной кислоты составляла 163%, а выход ацетата кальция составлял 96,81%.
--	--	--	--

Результаты проведенного анализа уреолитических бактерий, приведенных в исследованиях 1-10 с использованием *Sporosarcina pasteurii*, *Bacillus pasteurii*, *Bacillus Cereus* и *Bacillus Megaterium*, были оценены графическим количественно-качественным методом. Результаты анализа критериев для бактерий представлены в Таблице 4.

Таблица 4

Результаты анализа критериев

	Критерии оценки методом паутины	Наименование уреолитической бактерии		
		A	B	C
		<i>Sporosarcina pasteurii</i>	<i>Bacillus pasteurii</i>	<i>Bacillus cereus</i> и <i>Bacillus paramycoides</i>
I	Реакция при температуре 550 С	100%	100%	80%
II	Реакция при pH среды от 9 до 10	100%	90%	90%
III	Рост бактерий	100%	100%	100%
IV	Скорость реакции	100%	80%	70%
V	Уреазная активность	100%	100%	100%
VI	Влажность грунта	100%	100%	100%
VII	Образование кальцита	100%	100%	100%
VIII	Эффект стабилизации грунта	100%	90%	70%

Для ориентации были построены две окружности: большая и малая - для оценки метода. На окружности были нанесены радиусы, равные количеству критериев, обозначенных римскими цифрами от 1 до 8. Для каждого радиуса приведено обозначение для измерения значений параметров критериев в процентах в соответствии с таблицей 4. При этом каждая бактерия или группа бактерий была обозначена буквой, так, в частности, *Sporosarcina pasteurii* - А, *Bacillus pasteurii* - В, *Bacillus cereus* и *Bacillus paramycoides* - С. На схеме показатели критериев использования уреолитических бактерий обозначены линиями, *Sporosarcina pasteurii* обозначена голубым цветом, *Bacillus pasteurii* - оранжевым, *Bacillus cereus* и *Bacillus paramycoides* - красным (рисунок 1). Ранее отмеченные метки каждого вида бактерий или группы бактерий (А, В, С) соединены линиями. После ввода всех значений на диаграмме проведен анализ полученных данных, затем по площади соединенных линий определена бактерия, показавшая наибольшее значение по заданным критериям.

Анализ результатов приведенных в таблице 4 критериев использования уреолитических бактерий показывает, что значения показателей использования бактерий отличаются друг от друга не более чем на 0,2.

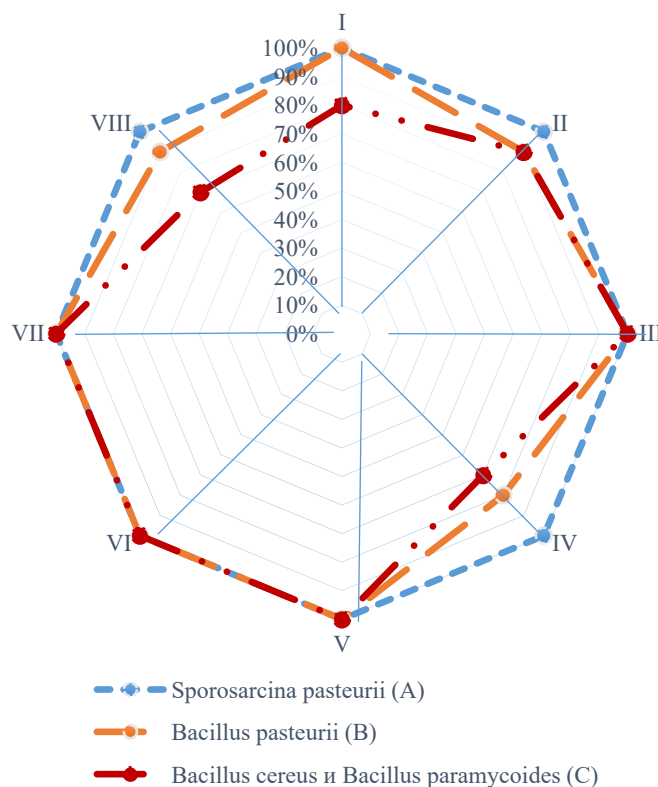


Рисунок 1. Диаграмма оценки количественно-качественным методом «Паутина»

4. Выводы

Сравнительный анализ показателей воздействия на улучшение свойств грунта путем применения бактерий показывает, что наибольшую активность показывает бактерия *Sporosarcina pasteurii*. Это обусловлено наличием и способностью данной бактерии выживать в щелочной среде и эффективно производить с высокой скоростью карбонат кальция. Осадки карбоната кальция, заполняющие пространства между частицами песка, эффективно сокращают объем пустот в грунте и уплотняют его. Таким образом, использование *Sporosarcina pasteurii* является более естественным и экологически чистым способом улучшения различных характеристик грунта.

Кроме того, из проведенных исследований можно сделать вывод о том, что скорость образования CaCO_3 , скорость преобразования Ca^{2+} и прочность на сжатие без ограничения зависят от температуры используемой смеси. Минералы CaCO_3 , образовавшиеся при более высокой температуре, имеют более крупный размер кристаллов и кубическую форму, что способствует более плотной связи между частицами.

Новый подход к укреплению эолового песка с использованием комбинации базальтового волокна и технологии микробного осаждения кальцита также показал хорошие результаты. Кристаллы CaCO₃ не только укрепляют песок, но и заполняют пустоты, улучшая его несущую способность. Дополнительно было выявлено, что прочность образцов улучшается с повышением количества используемых бактерий *Bacillus pasteurii*.

Вместе с тем, рассмотренный обзор применения уреолитических бактерий при биоцементации показал следующее:

1) необходимы дальнейшие исследования процесса осаждения CaCO₃ с учетом зависимости от pH, температуры и состава питательной среды с уреолитическими бактериями для определения граничных значений жизнеспособности бактерий;

2) важно также учитывать специфические характеристики материала, присущие каждой области применения, например, метод внесения и свойства используемого грунта;

3) необходимо определить скорость уреазной активности для прогнозирования необходимого количества осаждения CaCO₃.

Учитывая все вышеуказанные характеристики, полученные в разных областях знаний на разных масштабных уровнях, появится возможность более точно прогнозировать процесс биоцементации для каждого типа грунта и определить наилучший способ укрепления грунта с использованием данного метода.

Вклад авторов:

Кусбергенова Ж.Т. – сбор, написание статьи, анализ;

Тулбекова А.С. – критический пересмотр содержания;

Жумадилов И.Т. – интерпретация результатов работы.

Список литературы:

1. Effect of bio-cementation process on sandy soil / Bojja Vinod Kumar, Anuja Charpe, NR Krishnamurthy, Ashwin Raut – 2022. – Т. 2, № 5. – p. 1-9. <https://doi.org/doi:10.1088/1755-1315/1086/1/012017>
2. Bio-precipitation of CaCO₃ for soil improvement: A Review / A Miftah, H Khodadadi Tirkolaei², H Bilsel³ – 2020. – Т. 800. – p. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/800/1/012037>
3. Advancements in Exploiting *Sporosarcina pasteurii* as Sustainable Construction Material: A Review / S. Khoshtinat – 2023. – Т. 15. – p. 1-23.
4. Manual of Clinical Microbiology / Wormser G.P, Stratton C.ASM Press, 2007. – 2488 с.
5. Biocementation as a Pro-Ecological Method of Stabilizing Construction Subsoil / Katarzyna Stefaniak, J ędrzej Wierzbicki, Barbara Ksit, Anna Szymczak-Graczyk – 2023. – Т. 16, № 6. – p. 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en16062849>
6. Transport and Fate of Ureolytic *Sporosarcina pasteurii* in Saturated Sand Columns: Experiments and Modelling / Guijie Sang, Rebecca J. Lunn, Grainne El Mountassir, James M. Minto – 2023. – Т. 149. – p. 599-624. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11242-023-01973-x>

7. Influencing factors on ureolytic microbiologically induced calcium carbonate precipitation for biocementation / N. Erdmann, D. Strieth – 2023. – Т. 39, № 61. – p. 1-18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11274-022-03499-8>

8. Microbial-induced carbonate precipitation (MICP) technology: a review on the fundamentals and engineering applications / Kuan Zhang, Chao-Sheng Tang, Ning-Jun Jiang, Xiao-Hua Pan, Bo Liu, Yi-Jie Wang, Bin Shi – Т. 82, № 229. – p. 1-33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12665-023-10899-y>

9. Assessing Indigenous Soil Ureolytic Bacteria as Potential Agents for Soil Stabilization / Abdulaziz Dardau Aliyu, Muskhazli Mustafa, Nor Azwady Abd Aziz, Yap Chee Kong, Najaatu Shehu Hadi – 2023. – Т. 8, № 1. – p. 1-20. <https://doi.org/DOI: 10.22146/jtbb.75128>

10. A Study on Bio-Stabilisation of Sub-Standard Soil by Indigenous Soil Urease-Producing Bacteria / Abdulaziz Dardau Aliyu, Muskhazli Mustafa, Nor Azwady Abd Aziz, Najaatu Shehu Hadi – 2023. – Т. 31, № 5. – p. 2389-2412. <https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.47836/pjst.31.5.18>

11. Biochar-bacteria partnership based on microbially induced calcite precipitation improves Cd immobilization and soil function / Min Xu, Jing Ma, Xiao-Hong Zhang, Gang Yang, Lu-Lu Long, Chao Chen, Chun Song, Jun Wu, Peng Gao, Dong-Xing Guan – 2023. – Т. 5, № 20. – p. 1-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42773-023-00222-0>

12. Inhibited and Retarded Behavior by Ca²⁺ and Ca²⁺/OD Loading Rate on Ureolytic Bacteria in MICP Process / Masaharu Fukue, Zbigniew Lechowicz, Yuichi Fujimori, Kentaro Emori, Catherine N. Mulligan Cep. 16. – 2023. – Т. 1, № 3357. – p. 1-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma16093357>

13. Characterizing Microbial and CO₂-Induced Carbonate Minerals: Implications for Soil Stabilization in Sandy Environments / Hamed Abdeh Keykha, Alireza Zangani, Hadi Mohamadzadeh Romiani, Afshin Asadi, Satoru Kawasaki, Niloofar Radmanesh – 2023. – Т. 7, № 13. – p. 1-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/min13070976>

14. Performance and Mechanism of Zn-Contaminated Soil through Microbe-Induced Calcium Carbonate Precipitation / Wei Xing, Feng Zhou, Rui Zhu, Xudong Wang, Tingzhu Chen – 2023. – Т. 1974, № 13. – p. 1-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/buildings13081974>

15. Experimental Study of MICP-Solidified Calcareous Sand Based on Ambient Temperature Variation in the South China Sea / Jun Hu, Yufei Yang, Yuxuan Zhou, Hui Xiang, Kai Wei – 2023. – Т. 15, № 10. – p. 1-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su15108245>

16. Unlocking the Potential of Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation for Hydrological Applications: A Review of Opportunities, Challenges, and Environmental Considerations / Charalampos Konstantinou, Yuze Wang – 2023. – Т. 9, № 10. – p. 1-32. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/hydrology10090178>

17. Experimental Study on the Mechanical Behaviors of Aeolian Sand Treated by Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) and Basalt Fiber Reinforcement (BFR) / Jia Liu, Xian Li, Gang Li, Jinli Zhang – 2023. – Т. 2, № 16. – p. 1-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma16051949>

18. Feasible Utilization of Waste Limestone as a Calcium Source for Microbially Induced Carbonate Precipitation (MICP) / Qian Feng, Yuqi Song, Chuanwei Lu, Hao Fang, Yuxin Huang, Liuxia Chen, Xiangyang Song – 2023. – Т. 9. – p. 307. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/fermentation9030307>

Құсбергенова Жанар¹, Тулебекова Асель¹, Жұмадилов Ильяс²

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы

²Shakarim University, Семей қаласы, Қазақстан Республикасы

*zhkusbergenova@gmail.com

Топырақты био цементтеу процесінде уреолитикалық бактериялардың қолданылуына шолу

Андатпа: Бүгінгі таңда топырақтың құрамын жақсартудың әртүрлі әдістері қолданылады. Сала ғалымдары экологияға мейілінше нұқсан келтірмеу, экожүйеге теріс әсерді азайту және оны сақтау арқылы топырақтың сапасын жақсартуға қабілетті балама әдісті табуда үнемі ізденіс жасайды. Бұл жағдайда әртүрлі микроорганизмдер жүзеге асыратын биоцементтеу барлық көрсетілген талаптарға жауап береді. Мақалада микробтық индукцияланған карбонатты тұндыру арқылы уреаза түзуге қабілетті бактерияларды қолдана отырып, ұсынылған биоцементтеу әдістеріне шолу жасалады. Зертханалық жағдайда жүргізілген көптеген талдау экологиялық таза құрылыс әдісі ретінде биоцементтеу процесінің сәттілігін көрсеткенімен, аталмыш стратегияны тәжірибеде және далада қолдану әлі де толық шешімін тапқан жоқ. Бұл екі күрделі жағдайдан туындайды: біріншіден, биоцементтеу көптеген факторларға байланысты күрделі құбылыс, екіншіден, ғылыми әдебиеттерде әртүрлі микроорганизмдер мен түрлі жағдайлар қарастырылып, әр тарапты нәтижелер берілген. Ұсынылған жұмыс кең таралған *Sporosarcina pasteurii*, *Bacillus Cereus* және *Bacillus paramycoides* бактерияларын қолданудағы соңғы жетістіктерді зерттеуге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, жұмыста осы әдісті қолдануды кеңейту мақсатында болашақ зерттеулердің басым бағыттары айқындалады.

Түйін сөздер: биоцементтеу, микроорганизмдер, *Sporosarcina pasteurii*, *Bacillus cereus*, *Bacillus paramycoides*.

Kusbergenova Zhanar¹, Tulebekova Asel¹, Zhumadilov Ilyas²

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana city, Republic of Kazakhstan

²Shakarim University, Semei city, Republic of Kazakhstan

*zhkusbergenova@gmail.com

A review of the use of ureolytic bacteria in the process of biocementation of soils

Abstract: Today, various methods are used to improve the properties of soils, but scientists are constantly searching for an alternative technique that can improve the condition of the soil with minimal disturbance to the ecology, reducing the negative impact on the ecosystem and preserving it. Biocementation carried out by various microorganisms under given conditions fulfils all these requirements. This paper gives an overview of the proposed biocementation methods using bacteria capable of producing urease by microbially induced carbonate precipitation. Although numerous in vitro studies have demonstrated the success of the biocementation process as an environmentally friendly construction method, the application of this strategy in practice and in the field is still an unsolved

problem. This is due to two main difficulties: firstly, biocementation is a complex phenomenon depending on many factors, and secondly, different types of microorganisms and different conditions have been considered in the scientific literature, resulting in a diversity of results. The presented work allows us to explore recent advances in the application of the widely used bacteria *Sporosarcina pasteurii*, *Bacillus cereus* and *Bacillus paramycoides*. The work also identifies directions for future research to expand the application of this method.

Keywords: biocementation, microorganisms, *Sporosarcina pasteurii*, *Bacillus cereus*, *Bacillus paramycoides*.

References:

1. Effect of bio-cementation process on sandy soil / Bojja Vinod Kumar, Anuja Charpe, NR Krishnamurthy, Ashwin Raut – 2022. – Т. 2, № 5. – p. 1–9. <https://doi.org/doi:10.1088/1755-1315/1086/1/012017>
2. Bio-precipitation of CaCO₃ for soil improvement: A Review / A Miftah, H Khodadadi Tirkolaei², H Bilsel³ – 2020. – Т. 800. – p. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/800/1/012037>
3. Advancements in Exploiting *Sporosarcina pasteurii* as Sustainable Construction Material: A Review / S. Khoshtinat – 2023. — Т. 15. – p. 1–23.
4. Manual of Clinical Microbiology / Wormser G.P, Stratton C. ASM Press, 2007. – 2488 с.
5. Biocementation as a Pro-Ecological Method of Stabilizing Construction Subsoil / Katarzyna Stefaniak, Jędrzej Wierzbicki, Barbara Ksist, Anna Szymczak-Graczyk – 2023. – Т. 16, № 6. – p. 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en16062849>
6. Transport and Fate of Ureolytic *Sporosarcina pasteurii* in Saturated Sand Columns: Experiments and Modelling / Guijie Sang, Rebecca J. Lunn, Grainne El Mountassir, James M. Minto — 2023. — Т. 149. — p. 599–624. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11242-023-01973-x>
7. Influencing factors on ureolytic microbiologically induced calcium carbonate precipitation for biocementation / N. Erdmann, D. Strieth – 2023. – Т. 39, № 61. – p. 1–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11274-022-03499-8>
8. Microbial-induced carbonate precipitation (MICP) technology: a review on the fundamentals and engineering applications / Kuan Zhang, Chao-Sheng Tang, Ning-Jun Jiang, Xiao-Hua Pan, Bo Liu, Yi-Jie Wang, Bin Shi – Т. 82, № 229. – p. 1–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12665-023-10899-y>
9. Assessing Indigenous Soil Ureolytic Bacteria as Potential Agents for Soil Stabilization / Abdulaziz Dardau Aliyu, Muskhazli Mustafa, Nor Azwady Abd Aziz, Yap Chee Kong, Najaatu Shehu Hadi – 2023. – Т. 8, № 1. – p. 1–20. <https://doi.org/DOI: 10.22146/jtbb.75128>
10. A Study on Bio-Stabilisation of Sub-Standard Soil by Indigenous Soil Urease-Producing Bacteria / Abdulaziz Dardau Aliyu, Muskhazli Mustafa, Nor Azwady Abd Aziz, Najaatu Shehu Hadi – 2023. – Т. 31, № 5. — p. 2389–2412. <https://doi.org/DOI: https://doi.org/10.47836/pjst.31.5.18>
11. Biochar-bacteria partnership based on microbially induced calcite precipitation improves Cd immobilization and soil function / Min Xu, Jing Ma, Xiao-Hong Zhang, Gang Yang, Lu-Lu Long, Chao Chen, Chun Song, Jun Wu, Peng Gao, Dong-Xing Guan – 2023. – Т. 5, № 20. – p. 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42773-023-00222-0>

12. Inhibited and Retarded Behavior by Ca²⁺ and Ca²⁺/OD Loading Rate on Ureolytic Bacteria in MICP Process / Masaharu Fukue, Zbigniew Lechowicz, Yuichi Fujimori, Kentaro Emori, Catherine N. Mulligan *Сеп.* 16. – 2023. – Т. 1, № 3357. – p. 1-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma16093357>
13. Characterizing Microbial and CO₂-Induced Carbonate Minerals: Implications for Soil Stabilization in Sandy Environments / Hamed Abdeh Keykha, Alireza Zangani, Hadi Mohamadzadeh Romiani, Afshin Asadi, Satoru Kawasaki, Niloofar Radmanesh – 2023. – Т. 7, № 13. – p. 1-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/min13070976>
14. Performance and Mechanism of Zn-Contaminated Soil through Microbe-Induced Calcium Carbonate Precipitation / Wei Xing, Feng Zhou, Rui Zhu, Xudong Wang, Tingzhu Chen – 2023. – Т. 1974, № 13. – p. 1-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/buildings13081974>
15. Experimental Study of MICP-Solidified Calcareous Sand Based on Ambient Temperature Variation in the South China Sea / Jun Hu, Yufei Yang, Yuxuan Zhou, Hui Xiang, Kai Wei – 2023. – Т. 15, № 10. – p. 1-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su15108245>
16. Unlocking the Potential of Microbially Induced Calcium Carbonate Precipitation for Hydrological Applications: A Review of Opportunities, Challenges, and Environmental Considerations / Charalampos Konstantinou, Yuze Wang – 2023. – Т. 9, № 10. – p. 1-32. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/hydrology10090178>
17. Experimental Study on the Mechanical Behaviors of Aeolian Sand Treated by Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) and Basalt Fiber Reinforcement (BFR) / Jia Liu, Xian Li, Gang Li, Jinli Zhang – 2023. – Т. 2, № 16. – p. 1-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma16051949>
18. Feasible Utilization of Waste Limestone as a Calcium Source for Microbially Induced Carbonate Precipitation (MICP) / Qian Feng, Yuqi Song, Chuanwei Lu, Hao Fang, Yuxin Huang, Liuxia Chen, Xiangyang Song – 2023. – Т. 9. – p. 307. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/fermentation9030307>.

Сведения об авторах:

Құсбергенова Ж. Т. – докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан

Түлебекова А.С. – профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан

Жұмаділов И.Т. - старший преподаватель, Shakarim University, г. Семей, Республика Казахстан

Авторлар туралы мәліметтер:

Құсбергенова Ж.Т. – Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының докторанты, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы

Түлебекова А.С. – Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының профессоры, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы

Жұмаділов И.Т. – Shakarim University «Құрылыс» кафедрасының аға оқытушысы, Семей қаласы, Қазақстан Республикасы

Information about the authors:

Kusbergenova Zh.T. – PhD student, Department of «Civil Engineering», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana city, Republic of Kazakhstan

A.S. Tulebekova – Professor, Department of «Civil Engineering», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana city, Republic of Kazakhstan

I.T. Zhumadilov – Senior Lecturer, Department of «Civil Engineering», Shakarim University, Semey city, Republic of Kazakhstan



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 52.13.17

Научная статья

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-177-188>

Изучение эффективности работы карьерных автосамосвалов в сложных высокогорных условиях

Г.К. Саменов*¹, А.А. Каражанов², Бауыржан Жаманбаев³

^{1,2,3} Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

(E-mail: ¹sgk_08@mail.ru, ²akarazhanov@mail.ru, ³zhaman78@gmail.com)

Аннотация. Изучены технологические возможности использования карьерных автосамосвалов в условиях высокогорья для транспортировки угля на большие расстояния. Для решения проблем перевозки угля были рассчитаны варианты транспортировки и предложен оптимальный вариант для реализации установленного плана перевозок. При условии реконструкции всех мостов, регулярного ремонта, своевременной очистки участков дороги от снега, покрытия дороги специальным вяжущим материалом в ледовый период и полива летом существует техническая возможность ежегодно перевозить таким способом один миллион тонн угля.

Ключевые слова: высокогорный карьер, уголь, автосамосвал, автомобильный транспорт, дороги.

Поступила: 23.01.2024. Доработана: 05.02.2024. Одобрена: 16.02.2024. Доступна онлайн: 29.03.2024

* автор для корреспонденции

1. Введение

Месторождение угля расположено в горной местности. Земля района, как правило, высокогорная. Абсолютные знаки по высоте расположены в пределах 3300-4200 м. Климат региона резко континентальный, изменение суточной температуры до 25°, наблюдается холодная зима и теплое лето. Наибольшее количество осадков выпадает зимой в феврале и марте, осенью в октябре.

Снежный покров на высоте свыше 2500 м выпадает в конце ноября и сохраняется до конца апреля. В высокогорье в любое время года возможен снег.

Регион в весеннее время подвержен лавинной опасности. В участке лавины не наблюдается. Контуры угольного пласта не имеют карстообразования. Сейсмологически регион находится в 9 балльной зоне.

В горных районах климат и дорожные условия имеют следующие характеристики: усложненные условия дорог, изменение различных климатических зон, резкие изменения погоды (снегопады, бураны, гололед, резкое изменение температуры), снижение давления, плотности и температуры воздуха с увеличением высоты гор.

Горные районы часто представляют собой сложный рельеф, слабо развитая сеть автодорог. В предгорных районах преобладают водные преграды: горные речки, озера, ручьи. Вертикальные узкие дороги в большинстве строят через ущелья и горные склоны. Горные дороги имеют резкие подъемы, уклоны и закрытые повороты, много дорожных сооружений и мостов.

В связи с погодными условиями дорожное движение резко меняется. Большая часть горных дорог подвержена обрушениям, камнепадам и оползням.

На изучаемом объекте горные и геологические условия не являются сложными. Имеются благоприятные условия для добычи угля открытым способом. В рабочей зоне населенных пунктов не имеется. Ближайшее село расположено в 45 км от карьера.

На карьере принята система открытой добычи с автотранспортом. Погрузка добытой горной массы осуществляется одноковшовыми гусеничными экскаваторами и колесными погрузчиками.

В соответствии с заданием проведена оценка возможностей предприятия по транспортировке 1 000 000 тонны угля из высотного карьера на расстояние до 150 км с разницей в высоте до 2000 метров.

2. Методы

Оценка производственной мощности транспортной системы проводилась с использованием данных о фактическом состоянии предприятия.

Основная цель проводимого исследования - обоснование оптимального горнотранспортного комплекса. Решены задачи по сбору необходимых данных для ее достижения и определению технологических и технических границ.

Основными и взаимосвязанными задачами, подлежащими решению, являются определение горно-геологических и горно-технических условий, необходимых для

данных типов самосвалов, обоснование горных и транспортных операций, а также условий и режима использования карьерного автотранспорта.

Горно-геометрическое исследование данной автодороги показал, что у съездов не постоянно выдерживаются уклоны в соответствии с опережающим уклоном, которая на практике не должна превышать 80 промилей. Существуют участки с наклоном более 120 промилей, что негативно отражается на эффективной работе транспортной техники, так как не все машины могут быть эффективными на крутых наклонных и поперечных участках автодороги. Также недостаточна доля участков горизонтальной дороги вдоль всей магистрали. Все это снижает эффективность использования автотранспорта, так как снижает среднюю техническую скорость движения и увеличивает среднее время в пути.

Одним из важнейших способов повышения эффективности автомашин в таких условиях за счет повышения качества их условий эксплуатации является четкое соблюдение норм проектирования дорог. Сужение автодорог вынуждает к снижению скорости, повышенному увеличению расхода топлива и приводит к износу автошин сверх норм.

3. Результаты и обсуждение

При превышении рельефа над уровнем моря происходит снижение атмосферного давления, температуры и плотности воздуха.

Низкое давление атмосферы снижает мощность двигателя, увеличивает расход потребляемого топлива, снижает давление воздуха в тормозных устройствах и приводит к другим негативным последствиям.

При уменьшении коэффициента заполнения цилиндров двигателя снижается мощность двигателя. В горной местности при выезде карьерного автосамосвала на высоту до 4000 метров через каждые 500-1000 м снижается мощность двигателя на 10-15%. Потребляемое топливо повышается в летнее время на 10-15% и зимнее время до 20-25%. Соответственно, крутящий момент на валу двигателя и сила двигателя на ведущих колесах уменьшаются. В первую очередь это связано с уменьшением плотности воздуха и, соответственно, с уменьшением коэффициента заполнения цилиндров двигателя. Следовательно, горючая смесь переобогащается.

В результате перегрева двигателя и прогрева рабочей смеси происходит разжижение моторного масла и ухудшаются рабочие свойства. При движении машины по горным дорогам может увеличиться количество топлива в составе масла до 20-30%. В результате этого происходит повышенный износ деталей двигателя.

При снижении температуры кипения воды, уменьшении подачи воздуха через вентиляцию и подачи тепла в окружающую среду от радиатора ухудшается охлаждение двигателя. Нарушение герметичности системы охлаждения может привести к закипанию воды даже при нормальной тепловой работе двигателя. Во время длительного спуска нагрузка на двигатель и трансмиссию снижается, а температура воды в системе охлаждения падает до 30-50°C.

При снижении атмосферного давления ухудшается работа устройств электрооборудования, нарушается работа вакуумного регулятора в сторону задержки

момента зажигания, что требует контроля момента зажигания на каждой высоте 2000 м - части октанового корректора. Кроме того, увеличивается испарение электролита из аккумуляторных батарей, интенсивно горят контакты электродов штепсельной вилки и выключателя, снижается сопротивление изоляции проводов и устройств электрооборудования, увеличивается тепловыделение ламповых изоляторов.

Внезапные колебания температуры, быстрые изменения погоды днем и подъем местности над уровнем моря могут вызвать оттаивание радиатора и блока цилиндров двигателя даже летом из-за ночных заморозков.

Из-за повышенного рельефа местности над уровнем моря работа системы зажигания осложнена, установка регулятора вакуума на задержку момента зажигания прерывается, уменьшается сопротивление изоляции электрических проводов и электроприборов, сильно горят электроды светильников и контакты выключателя, повышает образование обогрева в изоляторах светильников, повышает испарение электролита, снижает надежность работы других деталей и электроприборов.

При движении скорость передвижения автосамосвалов ограничивается: при подъеме - тяговые способности, при спуске - безопасность дорожного движения.

Эксплуатация карьерных автосамосвалов в горных районах должна строго соответствовать требованиям по подготовке машин к эксплуатации, проверке их технического состояния в автопарках и тупиках, а также своевременному обслуживанию, так как даже незначительные неисправности могут привести к серьезным последствиям.

Скорость карьерных транспортных средств определяется преимущественно продольным уклоном дорог.

В ходе исследований установлено, что при подъеме загруженных транспортных средств со скоростью 12-15 км/ч значение продольного уклона допустимой нагрузки на шины может достигать 15-20%.

Другие участки должны руководствоваться индикаторами или условиями движения (скользкая трасса, дождь, туман, ночь и т.п.). Для обеспечения безопасности движения необходимо выбрать минимально допустимый интервал между автосамосвалами. Перегон должен быть таким, чтобы при внезапной остановке стоящего перед ним автомобиля последующий автомобиль успел затормозить.

При управлении карьерного автосамосвала в горных условиях постоянная напряженная работа повышает утомление оператора. Из-за нехватки воздуха на высоте 3000 м и выше над уровнем моря у некоторых операторов выявляется затрудненное дыхание, головная и сердечная боль.

Повышенные трудные условия работы в горных условиях требуют от водителей высокой выносливости и хорошей подготовки.

На большой высоте работоспособность пневматических и пневмогидроприводных тормозов снижается за счет снижения подачи воздуха через компрессор и увеличения расхода воздуха для торможения при затяжных дорогах.

В среднем в горных районах до 10-15% траектории движения автомобиля осуществляется с помощью тормозов, а на дорогах с интенсивным движением - до 30-40%. На продолжительных спусках температура тормозных накладок повышается до

350-400°C, тормозные барабаны перегреваются до 280-300° С, поэтому коэффициент трения накладок резко уменьшается, а также повышается тормозной путь автосамосвала.

Значительно возрастают нагрузки на механизмы управления автосамосвала из-за сверхсложных условий автодорог.

При подъеме по горным дорогам наблюдается интенсивный износ шин из-за передачи большого крутящего момента на ведущие колеса, частого торможения на склонах, многочисленных поворотов малого радиуса, высокотемпературных условий эксплуатации шин, езды по дорогам с твердыми выступами и камнями.

Если не следовать специальным рекомендациям, дороги и климат в горных районах негативно скажутся на эксплуатационных характеристиках карьерных автосамосвалов.

Пробег карьерного автосамосвала до следующего текущего обслуживания сокращается на 30-35% от нормативного.

При обследовании пути от места назначения до горного карьера были выявлены следующие замечания:

- в некоторых участках ширина проезжей части дороги затрудняет проезд автомашин;
- частично отсутствуют участки для пропуска встречных автосамосвалов на всем протяжении маршрута;
- видимость встречных транспортных средств в некоторых местах весьма ограничена;
- очень длинные склоны в пути;
- места укладки трубопроводов подвержены риску обрушения;
- конструкция мостов не соответствует строительным нормам и правилам в части несущей способности конструктивных элементов (трещины, откосы, отмывки, обрушения, изгибы балок и т.д.).

Конструкция мостов не удовлетворяет строительные нормы и правила с точки зрения несущей способности основных сооружений.

Во избежание риска аварий карьерных автосамосвалов на участках мостовых конструкций необходимо проводить полную реконструкцию всех мостовых конструкций.

Из-за узости дорог проезд двух встречных карьерных автосамосвалов затруднен, что сильно влияет на работу горнотранспортного комплекса.

Зимой дороги необходимо регулярно чистить. Также необходимо обеспечение связи для всех операторов колесной техники.

В большинстве участков маршрута часто происходит обледенение дорог. Карьерные автосамосвалы вынуждены останавливаться, чтобы оборудовать шины специальными цепями.

Население близлежащих деревень жалуются на пыль дорог и часто закрывают дороги.

В основном есть очень большой запас мощности для перевозки угля, автомобильного транспорта от склада до конечной точки доставки, по результатам расчета транспортно-транспортной мощности транспортной системы.

При восстановлении конструкции всех мостов, регулярном техническом обслуживании, своевременной очистке и посыпке дороги специальными инертными материалами во время летнего гололеда и водой летом можно перевозить 1 000 000 тонн угля в год.

Изучение горно-геологических и горнотехнических факторов проводилось путем установления фактических или планируемых условий ведения горных работ. В

зависимости от горно-геологической обстановки была проведена соответствующая сборка основного горного погрузочно-разгрузочного оборудования, после чего была определена структура модели магистрали в соответствии с установленными горными и породными потоками. Расчеты проведены, исходя из фактических затрат, связанных с обслуживанием основных технических процессов, конкретных схем транспорта, количества основного технического оборудования, организацией эксплуатации горнотранспортных комплексов.

Необходимо указать, что результаты многочисленных научных исследований по перевозке горной массы карьерными автосамосвалами показывают, что производительность карьерной техники во многом зависит от сезонов года и условий климата. Влияние данных факторов на показатели карьерной техники учитывается сезонными факторами: 0,92-0,95 летом, 1-1,1 зимой и 0,8-0,85 в переходный период. Данный фактор в основном влияет на скорость движения карьерных автосамосвалов, в результате чего снижается производительность транспорта и сокращается в целом работа транспортной системы, то есть, несмотря на плохое состояние автодорог, техническая скорость загруженного движения весной в сравнении с зимой снижается на 10-15%.

В настоящее время подрядчики вывозят уголь с площадки наружу. Ежедневная производственная мощность по перевозке угля оценивается в 1000 тонн, а годовая производственная мощность оценивается примерно в 300 000 тонн угля. Согласно данным, количество рейсов данных подрядчиков не является постоянной.

Около 50 транспортной техники местного населения жителей используется подрядчиком в перевозке угля. Используются китайские самосвалы Howo и Shacman, старые российские самосвалы КамАЗ.

При транспортировке угля сторонним подрядчиком отсутствует стабильный объем перевозок и не выполняется план производства. Со стороны сторонних организаций нет должного контроля водителей карьерных автосамосвалов. Во время транспортировки карьерные самосвалы местного населения используются в различных условиях (разные модели транспортной техники, неисправные). Карьерные автосамосвалы часто перегружены и часто могут нарушать состояние автодорог и создавать аварийные ситуации.

Согласно результатам исследований по транспортировке угля, передавать запланированное количество угля внешним организациям очень опасно.

Если поручить стороннему подрядному предприятию транспортировать ежегодно 1 000 000 тонны угля, то по вышеуказанным причинам не сможет выполнить эту задачу. В настоящее время уголь экспортируют транспортной техникой Howo, Shacman и КамАЗ. Низкая производительность зависит от среднего возраста и физического износа карьерных автосамосвалов. Множество карьерных автосамосвалов КамАЗ уже исчерпали свои оперативные ресурсы.

Условия эксплуатации технологических транспортной техники, ограниченных с точки зрения технических и геометрических параметров производства, приводят к торможению и снижению эффективности высокопроизводительных карьерных

автосамосвалов Howo и Shacman в зависимости от условий сочетания с старыми самосвалами КамАЗ.

Если рассмотреть транспортный процесс использованием самосвалов Howo, Shacman и КамАЗ вместе взятых, то понятно, что старые самосвалы КамАЗ значительно уступают самосвалам Howo, Shacman по тяговым данным. В результате движение самосвала Howo, Shacman с низкими показателями по тягово-цепным характеристикам объясняется средним возрастом и высоким физическим износом карьерного автосамосвала КамАЗ. Большую часть затрат занимают карьерные автосамосвалы. Это связано с тем, что у большинства карьерных автосамосвалов КамАЗ уже выработан ресурс эксплуатации, что приводит к увеличению расхода топлива и износу шин. При использовании самосвала вместе с этим увеличивается и определенный расход топлива.

Применение нового поколения карьерных автосамосвалов одного типа позволяет решить указанную проблему. Данное решение значительно расширяет возможности высокопроизводительных транспортных средств Howo и Shacman, значительно снижает расход топлива, повышает эффективность погрузочной техники и в целом повышает производительность транспортной системы за счет снижения затрат на транспортные операции.

А также выполнен расчет транспортировки 1 000 000 тонн угля из карьера на приемный склад в городе.

В результате исследования установлено: чтобы производить 1 миллион тонны угля необходимо извлечь 300 миллионов тонн вскрышных пород. Данный участок плохо подготовлен к открытой добыче угля. Угольный пласт вскрыт практически с разных сторон. Чтобы получить необходимое количество угля, нужно подготовить месторождение. Для транспортировки вскрышных пород потребуется дополнительно 9 карьерных автосамосвалов и 3 экскаватора.

Для расчетов по перевозке угля использовались десять вариантов автомобилей Howo ZZ3327, Howo ZZ3327N3847C, Shacman SX3256, Shacman SX3316, КамАЗ 65201, Tatra T158-8, Terex TA30, Scania G440, Volvo FMX 6x4, Terex TR35 грузоподъемностью от 25 до 33 т.

Выполнены расчеты пропускной и провозной способности транспортной системы для перевозки угля при добыче угля в карьере и транспортировке породы с поверхности вскрыши карьера на внешний отвал; расчет параметров производственного маршрута перевозки угля от карьера до конечного склада; расчет экономических показателей транспортного процесса; привлечение сторонних перевозчиков при перевозке угля.

Расчеты основаны на справочных материалах, данных из интернета и средних фактических показателях. Затраты на работу и время простоя самосвалов и экскаваторов рассчитаны на основе фактических данных о стоимости литра дизельного топлива и заработной плате водителей самосвалов.

Ограничения скорости для самосвалов составляют 15 км/ч в грузовом направлении и 25 км/ч в порожнем направлении, исходя из фактических показателей практики. В целях безопасности допускаются максимально возможные значения, так как этот предел значительно снижает потенциал более качественной техники.

Оптимальный вариант перевозки самосвалом Howo ZZ3327 N3847C по результатам расчетов.

Расчетная экономия от транспортировки угля и травы собственными силами предприятия за шесть лет составляет более 40 тыс. долларов США.

Предлагается альтернативный метод транспортировки: самосвал HOWO с прицепом с перевалкой груза самосвалов HOWO в последнем населенном пункте перед въездом на карьер.

За счет сокращения количества трудных участков средняя скорость HOWO увеличится. Расход топлива также снизится. В зависимости от благоприятных условий работы количество дней работы прицепного HOWO будет увеличиваться.

Преимуществом этого варианта является повышение производительности. Частота перевозок для самосвалов HOWO составляет три раза в день до пункта погрузки и два раза в день для самосвалов HOWO с прицепами до конечного пункта погрузки.

Запасным вариантом для устранения социальной напряженности среди местного населения предлагается передать самосвалы HOWO, перевозящие уголь с карьера на перевалочный пункт местным водителям. Местные водители также адаптированы к высокогорному рельефу.

Самосвалы HOWO с прицепами также можно использовать для привлечения водителей из других регионов, так как условия эксплуатации в этом случае ниже +2000 м.

Таблица 1

Результаты расчета перевозки угля

Показатели	1 вариант	2 вариант	3 вариант
	Howo без перегрузки	Howo с перегрузкой КамАЗ	Howo с перегрузкой Howo с прицепом
ОРЕХ	9305310	7374596	6916850
САРЕХ	9431360	6845547	6973520
Итого ОРЕХ + САРЕХ	18736670	14220143	13890370
Объем угля, тн в год	1000000	1000000	1000000
Себестоимость \$/тн 156 км	18,74	14,22	13,89
Себестоимость \$/тн/км	0,12	0,09	0,09

Согласно расчетам вариантов транспортировки самосвалов Howo и Howo с прицепом с пунктами перегрузки, они более экономичны, чем другие варианты.

Также было определено количество транспортных единиц самосвалов, предлагаемых компанией TATRA, и в качестве альтернативы был представлен график производства.

4. Выводы

Как показывает анализ транспортных операций в открытом карьере, существует большой потенциал для повышения эффективности транспортных операций в горнодобывающей промышленности.

Результаты исследования участка дороги показывают, что проезжая часть на некоторых участках слишком узкая для самосвалов; по всей длине дороги частично отсутствуют карманы для встречного транспорта; есть участки, где видимость для встречного транспорта крайне ограничена; дорога имеет очень большие уклоны; проложенный трубопровод находится под угрозой обрушения; обнаружено, что конструкция моста не соответствует строительным нормам и правилам; не везде выдержаны отметки съездов в соответствии с контрольными отметками несущей способности конструктивных элементов.

Летом жители соседних деревень жалуются на пыльные дороги и перекрывают их. Многие дороги сильно обледенели. Зимние дороги необходимо регулярно чистить. Необходимо увеличить количество погрузчиков на всех сложных участках и обеспечить мобильную связь между водителями погрузчиков и самосвалов.

Если все мостовые сооружения будут реконструированы и регулярно ремонтироваться, снег на участках дорог будет своевременно убираться, в морозы на дорогу будет распыляться специальный вяжущий материал, а летом - вода, то по трассе технически можно будет перевозить 1 млн тонн угля в год.

Система транспортировки угля от разрезов до приемных складов имеет очень большой запас пропускной и провозной способности на маршруте, согласно расчетам пропускной и провозной способности.

По причинам, указанным в представленном отчете об эффективности транспортировки угля, было бы очень рискованно передавать запланированные объемы угля существующим подрядчикам. Также не представляется возможным полностью перейти на перевозку из одного источника. Это связано с тем, что в этом случае местное население близлежащих населенных пунктов будет против. Другими словами, если необходимо перевезти один миллион тонн угля, местных водителей следует держать на частичных контрактах.

Снижение производительности обусловлено высоким средним возрастом самосвалов и их физическим износом. Для решения этой проблемы, необходимо поддерживать тот же тип самосвалов в новом поколении.

Важной возможностью повышения производительности и снижения затрат на горном транспорте является эффективная организация автопарков.

Сначала реализация имеющихся возможностей должна быть связана с более точным обоснованием выбора модели и количественного соотношения основного горнотранспортного оборудования.

Второе направление – создание условий для эффективной эксплуатации действующей сегодня горнодобывающей и транспортной техники. При перевозке угля работают самосвалы, фактически отработавшие свой ресурс, которые по своим тяговым

характеристикам не в полной мере соответствуют новым самосвалам совместного пользования. Надо принимать эффективные решения поддержания рентабельности горнотранспортного комплекса за счет обоснованной замены основного оборудования.

Из актуальных направлений повышения эффективности работы самосвалов в горных условиях за счет улучшения качества условий их эксплуатации является точное соблюдение норм проектирования дорожного полотна. Уменьшение ширины автодорог приводит к снижению скорости машин, увеличению расхода топлива и изнашиваемости автошин.

Третье направление – совершенствование управления транспортными операциями в карьерах и на дорогах. Этот процесс включает в себя все аспекты администрирования, учета, нормирования, регулирования, планирования и организации. Для этого необходимо создать соответствующую систему управления и диспетчеризации автоматизированных транспортных операций. Современная система диспетчеризации позволяет наблюдать за динамикой работы самосвалов и принимать оптимальные и быстрые решения, чтобы исключить ситуации, связанные с дорожно-транспортными происшествиями и простоями техники.

Вклад авторов:

Каражанов А.А. – концепция, методология, ресурсы.

Жаманбаев Б.У. – сбор данных, тестирование, моделирование.

Саменов Г.К. – анализ, визуализация, интерпретация, написание, редактирование.

Список литературы

1. Ракишев Б.Р., Молдабаев С.К., Нурғалиева М.С., Саменов Г.К. Конструкция и оптимизация положения вскрышной зоны на угольных разрезах // Вестник Казахского национального технического университета. – Алматы: 2011. – №4. - С.143-149.
2. B.Rakishev, D.Mahambetov, G.Samenov. Optimal application of automobile transport by open cast development of the deep quarries // Transport Problems. Poland: Katowice, 2013. – V.8. Issue 3. - P.25-33
3. Саменов Г.К., Бермухамбетов В.А., Куттыбаев А.Е., Турсынбеков А.А. Исследования влияния условий работы на эффективность эксплуатации карьерных автосамосвалов // «Рациональное использование минерального сырья в условиях индустрии 4.0»: Материалы международной научно-практической конференции. Алматы, КазННТУ, 2019, - С.210-213

Ғ.Қ. Сәменов, Ә.А. Қаражанов, Б.У. Жаманбаев

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Күрделі биік таулы жағдайларда карьерлік автоөзітүсіргіштерді пайдалану

Андатпа. Мақалада көмірді үлкен қашықтыққа тасымалдау кезінде биік таулы жағдайларда карьерлік автоөзітүсіргіштерді пайдалану ерекшеліктері қарастырылды. Көмір тасымалдау

жөніндегі міндеттерді шешу үшін нұсқаларды есептеу орындалды және тасымалдаудың белгіленген жоспарын жүзеге асырудың оңтайлы нұсқалары ұсынылды. Егер барлық көпір құрылыстарына қайта жаңартуды жүргізу, жол учаскелерін қардан тазалау, көктайғақ кезінде жолға арнайы қоспа материалдарын себу, жазғы уақытта көгалдандыру мен суару сияқты жұмыстар тұрақты жүргізіліп отырса, онда технологиялық жағынан осы жолмен жылына 1 млн. тонна көмір тасымалдау мүмкіндігі бар.

Түйін сөздер: биік тау карьері, көмір, автоөзітүсіргіш, автомобиль көлігі, жолдар.

G.K. Samenov, A.A.Karazhanov, B.U.Zhamanbayev

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Operation of mine dump trucks in difficult high-altitude conditions

Abstract. This article discusses the operation of mine dump trucks in high-altitude conditions for transporting coal over long distances. It presents calculations for solving the problem of coal transportation and proposes optimal solutions for implementing the established transportation plan. If all bridge structures are reconstructed, constant maintenance is ensured, road sections are timely cleaned from snow, special binding materials are used to fill the road during the ice season, and irrigation is conducted in the summer, then it will be possible to transport 1 million tons of coal per year along this road.

Keywords: high-altitude quarry, coal, dump truck, road transport, roads

References

1. Rakishev BR, Moldabaev SK, Nurgalieva MS, Samenov GK. Construction and optimization of the position of the overburden zone in coal mines//Bulletin of the Kazakh National Technical University. - Almaty: 2011. – №4. - S.143-149
2. B.Rakishev, D.Mahambetov, G.Samenov. Optimal application of automobile transport by open cast development of the deep quarries // Transport Problems. Poland: Katowice, 2013. – V.8. Issue 3. - P.25-33
3. Samenov G.K., Bermukhambetov V.A., Kuttybaev A.E., Tursynbekov A.A. Studies of the influence of working conditions on the efficiency of operation of mine dump trucks//Collection of works of the international scientific and practical conference "Rational use of mineral raw materials in the conditions of industry 4.0," Almaty, KazNITU, 2019, - S.210-213

Сведения об авторе (авторах):

Саменов Ғ.Қ. – хат-хабар авторы, техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көшесі, 2, 10000, Астана, Қазақстан.

Қаражанов Ә.А. – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көшесі, 2, 10000, Астана, Қазақстан.

Жаманбаев Б.У. – техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көшесі, 2, 10000, Астана, Қазақстан.

Саменов Г.К. – автор для корреспонденции, кандидат технических наук, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул.Сатпаева, 2, 10000, Астана, Казахстан.

Каражанов А.А. – кандидат технических наук, доцент, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул.Сатпаева, 2, 10000, Астана, Казахстан.

Жаманбаев Б.У. – PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул.Сатпаева, 2, 10000, Астана, Казахстан.

Samenov G.K. – corresponding author, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str. 2, 10000, Astana, Kazakhstan.

Karazhanov A.A. – Candidate of Technical Sciences, associate professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str. 2, 10000, Astana, Kazakhstan.

Zhamanbayev B.U. – PhD, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str. 2, 10000, Astana, Kazakhstan.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 73.41.39

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-189-200>

Определение усталости металла башенного крана при помощи программного обеспечения

А. Тулеков¹, Б. Сазамбаева¹, А. Кенесбек¹, И. Кенесбек*¹

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

(E-mail: auzkhhan1337@gmail.com, a.sazambaeva_t@mail.ru, inkara_9898@mail.ru*)

Аннотация. В этой статье рассматривается применение метода конечных элементов для оценки усталостной долговечности стальных конструкций башенных кранов. Понимая пагубные последствия циклического нагружения, метод конечных элементов позволяет инженерам моделировать и анализировать распределение напряжений, прогнозировать усталостную долговечность и оптимизировать конструкции. В статье описываются ключевые этапы, от структурного моделирования до анализа напряжений и прогнозирования усталостного ресурса, подчеркивается важность этих методов для повышения безопасности и надежности работы башенных кранов. Этот комплексный подход является примером интеграции передовых инженерных методов для обеспечения долговечности и надежности критически важного строительного оборудования.

Ключевые слова: башенный кран, усталость металла, метод конечных элементов, Solidworks, 3-D моделирование.

Поступила: 29.01.2024. Доработана: 06.02.2024. Одобрена: 22.02.2024. Доступна онлайн: 29.03.2024

¹ автор для корреспонденции

1. Введение

Башенные краны играют решающую роль в современном строительстве, поднимая тяжелые материалы на большую высоту с точностью и эффективностью. Конструктивная целостность этих кранов имеет первостепенное значение для обеспечения безопасности и надежности. Одним из ключевых аспектов оценки эксплуатационных характеристик стальной конструкции башенного крана является анализ ее усталостного ресурса. Усталостное разрушение может произойти из-за повторяющихся циклов погрузки и разгрузки, что делает необходимым прогнозирование потенциальных недостатков и управление ими.

В этой статье рассматривается анализ усталостной долговечности стальной конструкции башенного крана с использованием метода конечных элементов (МКЭ) [8].

В основу расчета грузоподъемных машин положены понятия о предельных состояниях, при котором дальнейшая эксплуатация кранов невозможна. Известны три вида предельных состояний: первое – потеря несущей способности, второе – потеря несущей способности и непригодность к дальнейшей эксплуатации, третье – непригодность к эксплуатации вследствие деформации, перемещений, колебаний и других факторов, влияющих на работу машины [2].

Для предотвращения наступления предельных состояний первого вида выполняют расчеты на прочность, контактную прочность, устойчивость элементов машины. Для предотвращения второго вида предельного состояния проводят расчеты сопротивления усталости, определяют износ и нагрев. Для предотвращения предельных состояний третьего вида выполняют расчеты упругих деформаций элементов механизмов колебаний металлоконструкций, сцепления приводных колес с рельсами [3].

Известны три типа расчетов: по допускаемым напряжениям, по предельным состояниям и вероятностные методы расчета.

Усталость металла является одним из основных факторов в материаловедении и в конструировании башенных кранов [2]. Этот процесс прогрессирующего повреждения материала при циклическом нагружении стрелы, также башни крана из-за частых качаний и боковых нагрузок. В случае башенных кранов циклическая нагрузка вызвана повторяющимся подъемом и опусканием тяжелых грузов. Со временем это может привести к образованию трещин, разломов и, в конечном счете, к разрушению конструкции, если не проводить ежедневный осмотр и своевременное техническое обслуживание должным образом. Может случиться критическая ситуация – падение или обрушением башенного крана [1].

В работе для исследования рассматривалась 3D-модель стальной конструкции башенного крана, созданного программным обеспечением SolidWorks с разбивкой на конечные элементы, с присвоением каждому элементу свойств материала и граничных условий.

2. Методология исследования

2.1 Метод конечных элементов

Метод конечных элементов (МКЭ) – это численный метод, используемый для анализа сложных структур и прогнозирования их поведения в различных условиях. Он включает в себя разделение структуры на более мелкие, управляемые элементы и решение математических уравнений для моделирования поведения каждого элемента. МКЭ позволяет инженерам изучать распределение напряжений, деформацию и другие критические факторы, предоставляя ценную информацию о реакции конструкции [8]. Для легкости расчетов МКЭ использовалось программное обеспечение SolidWorks (Рисунок 1).

При анализе учитывались механические свойства стали, используемые в конструкциях крана, характеризующиеся модулем упругости, пределом текучести и усталостной прочностью. В нашем исследовании рассматривался кран QTZ40 китайского производства, который чаще всего применяется в строительной отрасли, в металлоконструкции которой применяется сталь Q345, имеющей следующие характеристики: плотность материала составляет 7,85 г/см³, предел прочности при растяжении составляет 470-630 МПа, а предел текучести составляет 345 МПа. Данные показатели необходимы для ввода в программное обеспечение для более корректного расчета усталости металла [4].

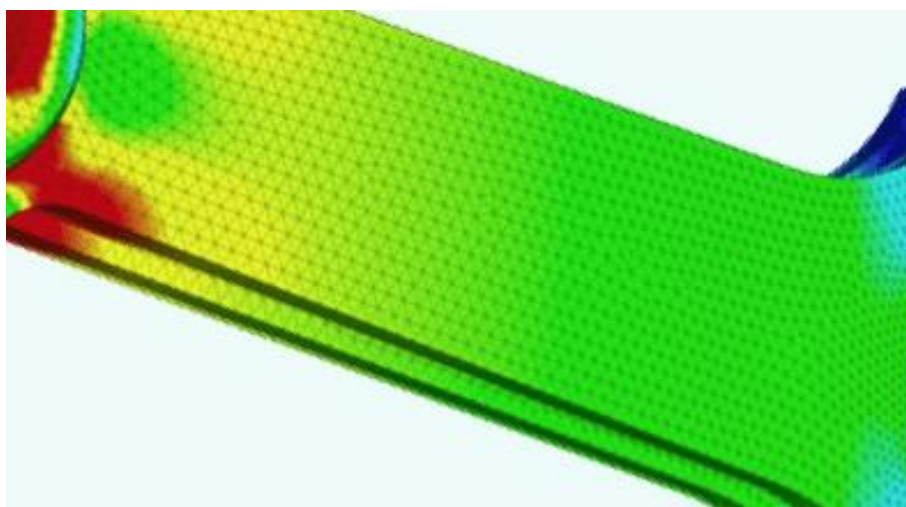


Рисунок 1. Метод конечных элементов

2.1. Условия загрузки башенного крана

Краны, как и все другие подъемные машины, испытывают внешние нагрузки, вызванные реакцией поднимаемого груза на металлоконструкцию стрелы и захватывающее груз устройство, ветровые нагрузки и нагрузки от действия массы узлов, кроме этого, испытывают внутренние напряжения в результате дефектов

технологии, которые соизмеримы с напряжениями от рабочих нагрузок. Условия загрузки определяются на основе эксплуатационных параметров крана, таких, как вес поднимаемых грузов, частота подъема и факторы окружающей среды, такие, как ветровые нагрузки [3].

Для моделирования срока службы крана применяются циклические схемы загрузки. Условия нагружения, которые воздействуют на башенный кран в течение срока его эксплуатации играют решающую роль в определении конструктивных характеристик и усталостной долговечности стальных компонентов крана. При определении условий нагружения учитываются следующие параметры: статические и динамические нагрузки.

Далее необходимо было разработать схемы циклических нагрузок, которые применяются для реалистичного моделирования срока службы крана. Эти схемы повторяют циклический характер подъема и опускания грузов, отражая повторяющиеся циклы нагрузок, испытываемых различными компонентами. Применяя динамическую нагрузку, можно предсказать, как конструкция реагирует с течением времени, и выявить области, потенциально подверженные усталости [3].

Условия загрузки не являются статичными; они могут варьироваться в зависимости от типа строительного проекта и эксплуатационных требований крана. Рассматриваются различные сценарии загрузки, такие, как внезапные пуски и остановки, экстренное торможение или непредвиденные нагрузки, для обеспечения прочности конструкции крана в различных условиях [1].

Количество циклов работы крана можно определить по следующей формуле (Таблица 1) [в]:

$$N = N_c * N_r * T \quad (1)$$

где: N_c – количество выполненных циклов крана в сутки;

N_r – количество рабочих дней в год;

T – нормативный срок службы.

Таблица 1

Класс использования башенного крана

Класс использования	Максимальное число рабочих циклов	Примечание
U0	16 000	Нерегулярное использование
U1	32 000	Нерегулярное использование
U2	63 000	Нерегулярное использование
U3	125 000	Нерегулярное использование
U4	250 000	Регулярное использование в легких условиях
U5	500 000	Регулярное использование с перерывами

U6	1 000 000	Регулярное интенсивное использование
U7	2 000 000	Интенсивное использование
U8	Более 2 000 000	Интенсивное использование

Также необходимо рассчитать, среднюю массу грузов башенного крана, используемого на данном объекте (Таб.2) [3]. Используем следующую формулу:

$$K_p = \sum \left(\frac{Q_1}{Q_{\text{НОМ}}} \right)^3 * \frac{N_1}{N_T} \quad (2)$$

где: Q_1 – масса груза, перемещаемого краном за число циклов N_1 ;

$Q_{\text{НОМ}}$ – номинальная грузоподъемность крана;

N_1 – число циклов работы крана с грузом Q_1 ;

N_T – число циклов работы крана за срок его службы, $N_T = \sum N_1$.

Таблица 2

Режим нагружения башенного крана

Режим нагружения	Номинальный коэффициент распределения нагрузок	Примечание
Q1	До 0,125	Краны, поднимающие регулярно легкие грузы, а номинальные грузы редко
Q2	До 0,25	Краны, поднимающие регулярно средние грузы, а номинальные довольно часто
Q3	До 0,5	Краны, поднимающие регулярно тяжелые грузы, а номинальные грузы часто
Q4	До 1	Краны, поднимающие регулярно грузы, близкие к номинальным

3. Результаты исследования

Анализ напряжений является важнейшим этапом оценки конструктивных характеристик стальных компонентов башенного крана при различных условиях нагружения. Этот этап включает применение метода конечных элементов для расчета и визуализации распределения напряжений по всей конструкции крана. Анализ напряжений дает ценную информацию о том, как материалы реагируют на внешние воздействия, и помогает определить потенциальные проблемные области [7].

3D-модель крана разделяется на более мелкие элементы с помощью процесса, известного, как создание сетки. Различные типы элементов, такие, как балки, фермы и оболочки, выбираются в зависимости от геометрии и сложности конструкции (Рисунок 2) [6].

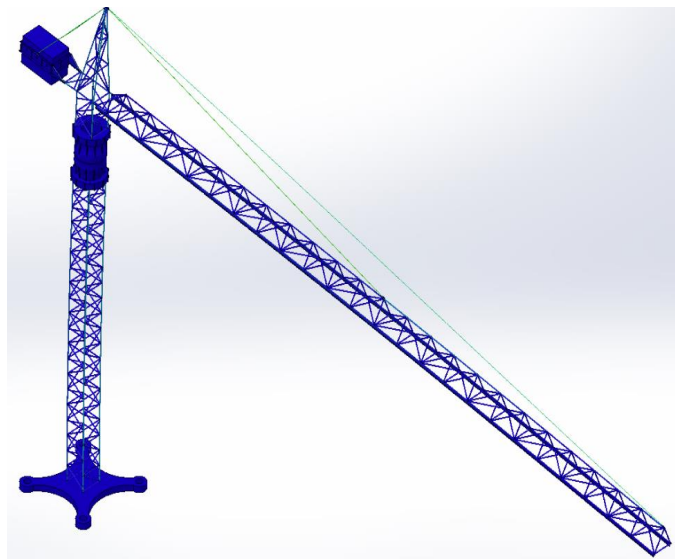


Рисунок 2. 3D-модель башенного крана

Напряжения и нагрузки определяют расчетным путем.

При расчетах, необходимых для предотвращения наступления предельных состояний первого вида, учитывают максимальную массу груза, наиболее неблагоприятные для рассчитываемого элемента, положение стрелы, и сочетания динамических нагрузок, возникающих при резких пусках и торможениях.

Правильное построение сетки важно для точного расчета напряжений. Для расчета напряжений используется следующая формула:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

где F – масса груза;

A – площадь давления.

При анализе учитываются механические свойства стали, используемой в конструкции крана, такие, как модуль упругости, предел текучести и усталостная прочность. Эти свойства определяют, как материал деформируется и реагирует на внешние нагрузки. Формула эластичной деформации выглядит следующим образом [5]:

$$\delta = \frac{F \cdot L}{E \cdot A} \quad (4)$$

где L – длина стрелы башенного крана;

E – модуль Юнга.

Напряжение фон Мизеса – это скалярное значение, получаемое из компонентов напряжения в каждой точке конструкции [2]. Оно обеспечивает единое значение, представляющее потенциальную податливость или разрушение. Инженеры используют

напряжение Фон Мизеса для оценки того, находятся ли материалы в допустимых пределах, и для выявления областей, которые могут потребовать усиления [5]. Формула выглядит следующим образом:

$$\sigma_{v-m} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \quad (5)$$

где: σ – это нормальный стресс;
 τ – это напряжение сдвига.

Основываясь на распределении напряжений и свойствах материала, можно оценить усталостную долговечность компонентов крана. Кривая S-N, связывающая напряжение и количество циклов до разрушения, часто используется для прогнозирования возможного возникновения усталостного разрушения. Формула количества циклов отказа выглядит следующим образом [7]:

$$N_f = \left(\frac{S_f}{\sigma_{v-m}} \right)^m \quad (6)$$

где: S_f – усталостная прочность металла;
 $\sigma_{(v-m)}$ – это напряжение фон Мизеса;
 m – это наклон кривой S-N.

К модели применяются условия загрузки, включая вес поднимаемых грузов, частоту подъема и факторы окружающей среды, такие, как ветровые нагрузки. На этом этапе моделируются сценарии практические, что позволяет инженерам наблюдать за поведением крана в различных условиях эксплуатации [5].

Модель подвергается граничным условиям, представляющим ограничения, которые имитируют реальную среду крана. Эти ограничения включают крепления в основании или соединения с другими конструкциями. Граничные условия играют решающую роль в определении того, как кран взаимодействует с окружающей средой.

Программное обеспечение МКЭ рассчитывает распределение напряжений по всей конструкции крана, это дает возможность визуализировать концентрацию напряжений, характер деформаций и критические точки, в которых конструкция наиболее подвержена усталости. Области с высоким напряжением тщательно исследовались на предмет потенциальных уязвимостей конструкции.

Анализ напряжений помог выявить критические области, в которых вероятно возникновение усталостных повреждений, изучение которых даст возможность дальнейшей модификации конструкции для повышения общей структурной целостности крана (Рисунок 3), (Рисунок 4) [6].

Наиболее напряженным местом стрелы является соединение с оттяжным канатом, в башне – ее оголовник. Экстремальные усилия и напряжения в стреле возникают, когда груз находится на максимальном вылете.

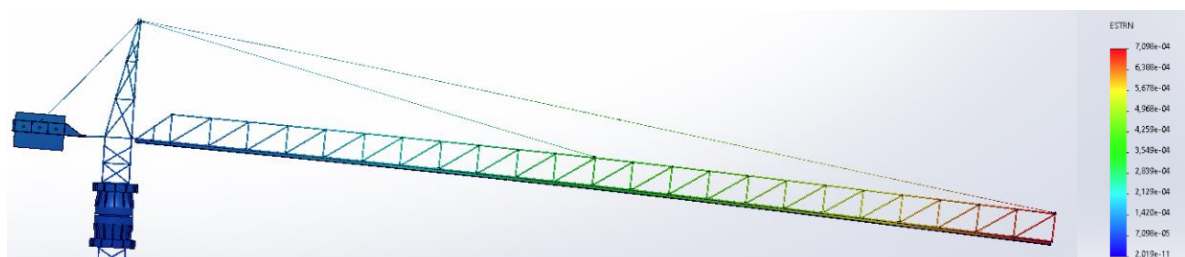


Рисунок 2. МКЭ деформации стрелы крана

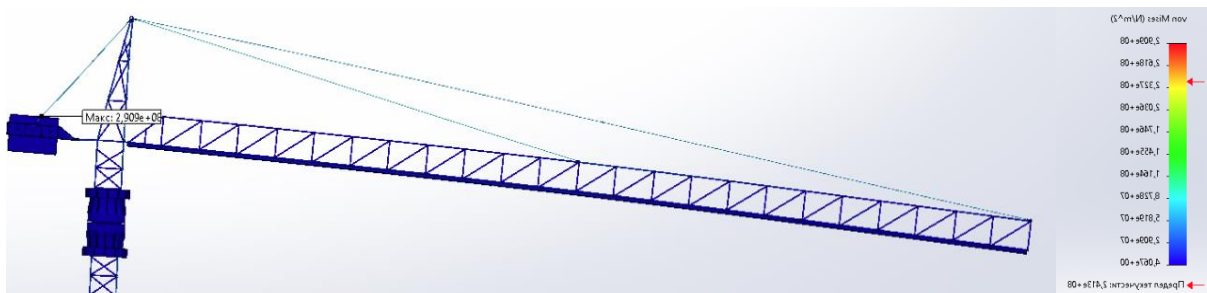


Рисунок 3 – МКЭ напряжения на стреле крана

По сути, анализ напряжений явился ключевым этапом метода конечных элементов, дающим полное представление о том, как стальная конструкция башенного крана реагирует на различные условия нагрузки. Эти знания имеют решающее значение для оптимизации конструкции, обеспечения безопасности и продления срока службы крана [6]. Благодаря этому, можно выявить критические места крана и усталость металлоконструкции для более тщательного обслуживания.

4. Вывод

Установлено, что современные инженерные технологии дают ценную информацию о сложном поведении крана в различных условиях нагрузки.

Выявлено, что анализ усталостной долговечности стальной конструкции башенного крана с помощью МКЭ, оценка пригодности к эксплуатации, направленной на использование перспективной конструкции, является ключевым процессом в обеспечении их безопасности, надежности и долговечности.

Комплексный подход, приведенный в этой статье, включает моделирование конструкции, определение условий нагружения на основе эксплуатационных параметров и использование МКЭ для анализа напряжений. В ходе исследования учитывались такие критические факторы, как вес поднимаемых грузов, частота подъема и элементы окружающей среды, такие, как ветровые нагрузки. Учет свойств материала и точных граничных условий обеспечили детальное понимание того, как стальные компоненты крана реагируют на внешние воздействия [8].

Установлено, что метод конечных элементов позволяет детально изучить конструктивную целостность башенного крана, позволяя инженерам принимать основанные на данных решения по усовершенствованию конструкции, что повышает безопасность и надежность крана, также способствует общей эффективности и продуктивности строительных проектов.

Поскольку строительная отрасль продолжает развиваться, интеграция передовых инженерных методологий, таких, как МКЭ, подчеркивает приверженность к инновациям и безопасности.

Выводы, полученные в результате анализа нагрузок, обеспечивают основу для принятия обоснованных решений, в конечном счете способствуя разработке более устойчивых и долговечных башенных кранов, которые играют жизненно важную роль в формировании нашей застроенной среды.

Вклад авторов:

А.Б. Тулеков – концепция, методология, сбор данных, экспериментальная часть.

Б.Б. Сазамбаева – моделирование, анализ, визуализация, заключение.

А.Б. Кенесбек – анализ литературы, помощь с экспериментом, моделирование.

И.Б. Кенесбек – визуализация, интерпретация, написание, редактирование.

Список литературы

1. Синельщиков А.В., Дроздов В.Н. Расчетные методы определения остаточного ресурса несущих металлоконструкций грузоподъемных кранов// Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2012. – С.62-65.
2. Наварский Ю.В. Грузоподъемные машины: учебно-методическое пособие. – Екатеринбург, 2006. – 100 с.
3. Богданов А. П., Гайнуллин А. А., Ефимов А. А., Левкович Р. В., Наумов Д. С., Окулов К. Ю. Обзор методов укрупненной оценки остаточного ресурса оборудования, эксплуатируемого на опасных производственных объектах. – Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – № 1(11). – С. 98-105.
4. «Сталь Q345». Свойства стали Q435. – (https://emk24.ru/wiki/stali-gb/stal-q345_8172675/). – 2024.
5. Сурашов Н. Т. Подъемно-транспортные машины: учебник. – МОиН РК. – Алматы: Ассоц. вузов. – 2015. - 362 с.
6. Алямовский А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. – М. – БХВ-Петербург. – 2016. – 800 с.
7. Международный журнал машиностроения «Проектирование и конечный анализ подъемной стрелы». – Ноябрь 2013. – 135-140 с.
8. Международный журнал передовых инженерных исследований «Моделирование и конечный элементный анализ телескопической стрелы крана». – Декабрь 2011. – С. 51-52.

А. Тулеков¹, Б. Сазамбаева¹, А. Кенесбек¹, И. Кенесбек¹

¹*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан*

Бағдарламалық жасақтаманың көмегімен мұнара кранының металының шаршауын анықтау

Аңдатпа. Мақалада мұнара крандары болат конструкцияларының пайдалану беріктігін бағалау үшін шекті элементтер әдісін (ШЭӘ) қолдану қарастырылады. Циклдік жүктеменің зиянды ықпалын түсіну арқылы соңғы элементтер әдісі инженерлерге кернеудің таралуын модельдеуге және талдауға, тозудың беріктігін болжауға, құрылымдарды оңтайландыруға мүмкіндік береді. Мақалада құрылымдық модельдеуден бастап кернеуді талдау мен тозу ресурсын болжауға дейінгі негізгі мәселелер анықталған. Мұнара крандарының қауіпсіздігі мен төзімділігін арттыру үшін оңтайлы әдістер жүйеленген. Бұл кешенді тәсіл маңызды құрылыс жабдықтарының беріктігі мен сенімділігін қамтамасыз ету үшін озық инженерлік әдістерді біріктірудің мысалы бола алады.

Түйін сөздер: мұнара краны, металдың тозуы, шекті элемент әдісі, Solidworks, 3-D модельдеу

A. Tulekov¹, B. Sazambayeva¹, A. Kenesbek¹, I. Kenesbek¹

¹*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan*

Determination of metal fatigue of a tower crane using software

Abstract. This article discusses the application of the finite element method (FEM) to assess the fatigue life of steel structures of tower cranes. By understanding the detrimental effects of cyclic loading, the finite element method allows engineers to model and analyze stress distribution, predict fatigue life, and optimize structures. The article describes the key stages, from structural modeling to stress analysis and fatigue life forecasting, and emphasizes the importance of these methods to improve the safety and reliability of tower cranes. This comprehensive approach is an example of integrating advanced engineering techniques to ensure the durability and reliability of critical construction equipment.

Keywords: tower crane, metal fatigue, finite element method, Solidworks, 3-D modeling.

References

1. Sinelshchikov A.V., Drozdov V. N. Raschetnye metody opredeleniya ostatochnogo resursa nesushchih metallokonstrukcij gruzopod"emnyh kranov [Computational methods for determining the residual life of load-bearing metal structures of lifting cranes]. –Bulletin of the Astrakhan State Technical University. – 2012. – pp.62-65.
2. Navarsky Yu.V. Gruzopod"emnye mashiny. Uchebno-metodicheskoe posobie [Lifting machines. Educational and methodical manual]. – Yekaterinburg. – 2006. – 100s..

3. Bogdanov A. P., Gainullin A. A., Efimov A. A., Levkovich R. V., Naumov D. S., Okulov K. Yu. Obzor metodov ukрупnennoj ocenki ostatochnogo resursa oborudovaniya, ekspluatiruemogo na opasnyh proizvodstvennyh ob'ektah [Review of methods for the integrated assessment of the residual life of equipment operated at hazardous production facilities]. – Current problems of the humanities and natural sciences. – 2015. – № 1(11). – Pp. 98-105.
4. «Stal' Q345». Svoystva stali Q435 ["Steel Q345". Properties of Q435 steel]. – ([https://emk24.ru/wiki/stali-gb/stal-q345_8172675 /](https://emk24.ru/wiki/stali-gb/stal-q345_8172675/)). – 2024.
5. Surashov N. T. Pod"emno-transportnye mashiny: uchebnik [Lifting and transport machines: textbook]. – MOiN RK. – Almaty: Assoc. Universities. – 2015. – 362 p.
6. Alyamovsky A.A. SolidWorks. Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike [SolidWorks. Computer modeling in engineering practice]. – М. – BHV-Petersburg. – 2016. – 800 с.
7. Mezhdunarodnyj zhurnal mashinostroeniya. «Proektirovanie i konechnyj analiz pod"emnoj strely» [International Journal of Mechanical Engineering]. ["Design and final analysis of the lifting boom"]. – November 2013. – 135-140 p.
8. Mezhdunarodnyj zhurnal peredovyh inzhenernyh issledovaniy. «Modelirovanie i konechnyj elementnyj analiz teleskopicheskoy strely kрана» [International Journal of Advanced Engineering Research]. ["Modeling and finite element analysis of a telescopic crane boom"]. – December 2011. – 51-52 p.

Сведения об авторах:

А.Б. Тулеков – докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Б.Б. Сазамбаева – доктор технических наук, профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

А.Б. Кенесбек – Ph.D, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

И.Б. Кеңесбек – докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

А.Б. Төлеков – Көлік, көлік техникасы және технологиялардың үшінші курс докторанты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан;

Б.Б. Сазамбаева – техника ғылымдарының докторы, профессор, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан;

А.Б. Кенесбек – Ph.D., Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан;

И.Б. Кеңесбек – Көлік, көлік техникасы және технологиялардың бірінші курс докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан.

А.В. Tulekov – third-year doctoral student in Transport, Transport Engineering and Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan;

В.В. Sazambayeva – Doctor of Technical Sciences, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan;

A.B. Kenesbek – Ph.D. L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan;

I.B. Kenesbek – first-year doctoral student in transport, Transport Engineering and Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 73.41.39

Научная статья

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-201-221>

Использование инновационных материалов для разработки башенных кранов

А. Тулеков¹ , Б. Сазамбаева¹ , Б. Тогизбаева¹ , И. Кенесбек* 

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

(E-mail: auezkhan1337@gmail.com, a.sazambaeva_t@mail.ru, inkara_9898@mail.ru*)

Аннотация. В этой статье проводится сравнительный анализ классической стали и композитных материалов, исследуются их соответствующие свойства и области применения в контексте разработки башенных кранов. Сочетание этих материалов учитывает такие факторы, как прочность, вес, стоимость и долговечность, отражая многогранный процесс принятия решений, который формирует выбор материалов в строительной отрасли.

Башенные краны, неотъемлемая часть строительной отрасли, традиционно изготавливались из классической стали из-за ее прочности. Однако появление композитных материалов бросает вызов этой норме, обещая высокую прочность и меньший вес. МКЭ-анализ используется для моделирования и анализа структурного поведения этих материалов в различных условиях, обеспечивая всестороннее понимание распределения напряжений, характера деформации и общей целостности. В статье исследуются такие важные факторы, как соотношение прочности к весу, динамическая нагрузка и экономическая эффективность, что в конечном итоге дает ценную информацию для принятия обоснованных решений в области проектирования и строительства башенных кранов. Такое всестороннее понимание облегчает детальное сравнение этих материалов с точки зрения их конструктивных характеристик, проливая свет на их соответствующие преимущества и ограничения.

По сути, цель этой статьи - дать инженерам, лицам, принимающим решения, и профессионалам отрасли всестороннее представление о конструктивных тонкостях и динамическом поведении классической стали и композитных материалов в контексте разработки башенных кранов. Используя компьютерное моделирование, исследование дает ценную информацию для принятия стратегических решений, прокладывая путь к продвижению эффективных, надежных и устойчивых технологий башенных кранов в строительной отрасли.

Ключевые слова: башенный кран, грузоподъемные машины, композитные материалы, углеволокно, стекловолокно, МКЭ-анализ.

Поступила: 29.01.2024 Доработана: 06.02.2024. Одобрена: 22.02.2024. Доступна онлайн: 29.03.2024

¹ автор для корреспонденции

1. Введение

В динамичной строительной отрасли разработка и эволюционирование башенных кранов играют ключевую роль в повышении эффективности, безопасности и общих сроках реализации проекта. Башенные краны традиционно изготавливались с использованием классических стальных материалов благодаря их хорошо зарекомендовавшей себя прочности и долговечности [3]. Однако недавние успехи в материаловедении и инженерии вывели композитные материалы на первый план, представив убедительную альтернативу господству стали. Традиционно изготовленные на прочных стальных фундаментах эти краны продемонстрировали надежность за десятилетия эксплуатации. Однако появление композитных материалов, отличающихся своим легким, но прочным составом, побудило к переоценке общепринятых представлений о конструкции башенных кранов.

Башня и стрела крана состоят из стержневой конструкции, где стержни - идеальный элемент для приготовления волокнистых композиционных материалов, которые эффективны при продольном нагружении.

Это исследование – не просто сравнение двух материалов; это исследование будущего строительных технологий. Отправляясь в это сравнительное путешествие, важно осознать проблемы и возможности, которые представляют как классическая сталь, так и композитные материалы.

Известно, что композитные материалы сопоставимы со стальными и имеют хорошие показатели по прочности, массе, долговечности, упругости, экологичности, экономичности и др.

Рассмотрение вопросов, посвященных основам классической прочности и инновационным перспективам композитных материалов, подготавливает почву для детального изучения факторов, влияющих на выбор материалов в постоянно развивающейся области разработки башенных кранов. По сравнению с классическими методами по улучшению башенных кранов, которые основаны на усилении конструкции в критических местах, в методе использования композитных материалов необходимо учитывать различные непредсказуемые явления [4]. Одним из таких явлений является часто распространенная проблема композитных материалов - это внутренняя деформация матрицы, особенно локальная. Фактически, в процессе оптимизации, с целью уменьшения веса, толщина компонента уменьшается, и поэтому явления потери устойчивости становятся более важными [2]. К примеру, одним из наиболее важных критериев в процессе проектирования стрелы башенного крана является нагрузка на изгиб [8]. Композит – это материал, состоящий из нескольких компонентов, т.е. матрицы и волокна, где матрица обеспечивает монолитность материала. Композитные материалы при правильной подборке их состава имеют высокий коэффициент противостояния изгибу [6]. Сложность заключается в непредвиденном поведении композитного материала при различных условиях среды, также расчет его остаточного напряжения [5].

Главной целью данного исследования будет сравнение классических материалов с композитными на предмет их изменчивости и противостоянию критическим нагрузкам,

изгибам в конструкции стрелы и башни крана [9]. В частности, основной целью этого исследования является оценка критической нагрузки на изгиб и деформацию [9].

В связи с тем, что критерий работоспособности – это условие устойчивости, определяемый гибкостью $\lambda = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_n}}$, позволяет сравнивать стержни ферм из различных материалов. Обеспечение равной гибкости стержней, выполненных из различных материалов, позволит применять композитные материалы. После проведения экспериментальной части исследования наглядно будет видна разница в смещении и напряжении классических материалов по сравнению с композитными [1].

2. Теоретическая часть

2.1 Технические характеристики крана

Техническая характеристика башенного крана QTZ 80A (Таблица 1). Башенный кран QTZ80A – это кран с усиленной конструкцией, разработанный в соответствии с GB/T5031 и GB5144, с номинальным моментом подъема 80 т*м и максимальной грузоподъемностью 8 тонн. Данный башенный кран обладает грузоподъемностью 1,1 тонна на максимальном вылете стрелы 60,2 м (Рисунок 1) [7], что является максимально возможным критическим показателем в конструкции стрелы. Башенный кран является наиболее оптимальным в сегменте цена-качество и обладает всем необходимым функционалом в современных реалиях. Конструкторские и экспериментальные расчеты данной модели позволят создать методическое пособие по оптимизации других моделей башенных кранов по примеру данной исследовательской работы. Ниже показана модель, сделанная в SolidWorks [8].



Рисунок 1. Модель башенного крана SolidWorks

Технические характеристики башенного крана QTZ80A

ПОКАЗАТЕЛЬ \ ИСПОЛНЕНИЕ	Changli 5512
Максимальный грузовой момент, кН·м	800
Грузоподъемность максимальная, т	8
Грузоподъемность на максимальном вылете, т	1,1
Вылет максимальный, м	60,2
Высота подъема свободностоящего крана, м	46
Высота подъема максимальная, м	150
Скорость подъема наибольшей массы, м/мин	20
Скорость подъема груза наибольшая, м/мин	40
Скорость изменения вылета с грузом, м/мин	10/30/60
Частота вращения, об/мин	0-0,6
Масса свободностоящего крана (без противовеса и балласта), т	46,4
Масса противовеса, т	15,5

2.2 Размеры стрелы башенного крана и его прочностной расчет

Стрела башенного крана является основной силовой конструкцией, которая представляет из себя сложную ферму с противовесом на другом конце. Каждая секция стрелы составляет $l = 3,5$ метра, высота стрелы $a = 1,84$ метра и ширина $b = 2$ метра (Рисунок 2) [7]:



Рисунок 2. Стрела башенного крана

Используя формулу прогиба стрелы башенного крана, можно рассчитать минимальное значение момента инерции, которым должен обладать рычаг, чтобы соответствовать ограничению допустимого отклонения [10]. С помощью полученного значения, используя таблицы стандартных профилей стрелы, можно определить тип и размер, который будет использоваться в нашем исследовании. Формула момента инерции выглядит следующим образом:

$$I = \frac{F * L_b^3}{3 \epsilon d_b} \tag{1}$$

где:

F – сила или груз действующий на стрелу;

L_b – длина стрелы;

ϵ – модуль Юнга;

d_b – допустимое отклонение стрелы.

Исходя из значений, полученных при расчете момента инерции, можно получить следующие значения из нормативных таблиц: площадь поперечного сечения S_b и сопротивление R_b .

Далее, имея значения плотности ρ , длину стрелы L_b и площади поперечного сечения S_b , можно найти вес стрелы P_b :

$$P_b = S_b * \rho * L_b \quad (2)$$

Дальше можем рассчитать вес на 1 метр конструкции стрелы:

$$p_b = S_b * \rho * 1\text{м} \quad (3)$$

Общая деформация стрелы d_b представляет из себя сумму трех составляющих: деформацию стрелы из-за груза d_l , деформацию из-за веса самой стрелы d_p и деформацию, которая появляется при сдвиге d_s [б]:

$$d_b = d_l + d_p + d_s = \frac{F * L_b^3}{3EI_b} + \frac{F * L_b}{GS_b} + \frac{F p_b * L_b^4}{8EI_b} \quad (4)$$

Исходя из нормативных документов по конструкции и размеров стрелы кранов приведено следующее значение отношения длины к общему допустимому отклонению, которое должно быть больше или равно 800. Чтобы стрела соответствовала ограничению, налагаемому на изгиб, необходимо убедиться, что:

$$\frac{L_b}{d_b} \geq 800$$

Максимальное суммарное напряжение σ_b на конце стрелы определяется суммой напряжения от груза σ_l и от веса σ_p самой стрелы башенного крана, его можно рассчитать по следующей формуле [и]:

$$\sigma_b = \sigma_l + \sigma_p = \frac{F * L_b}{R_b} + \frac{F p_b * L_b}{2 * R_b} \quad (5)$$

Далее необходимо рассчитать критическую нагрузку на стрелу башенного крана, которая имеет треугольную форму в сечении. Для расчета сил, которые изгибают стрелу башенного крана, необходимо найти площадь сечения стрелы S_b :

$$S_b = \frac{a_1 * b_1 - a_2 * b_2}{2} \quad (6)$$

Далее вычисляем геометрические характеристики сечения стрелы, момент инерции стрелы J_b :

$$J_{bx} = \frac{b_1 * a_1^3 - b_2 * a_2^3}{24} \quad (7)$$

И момент сопротивления изгибу полого треугольника W_b :

$$W_{bx} = \frac{b_1 * a_1^3 - b_2 * a_2^3}{2(6 * a_1)} \quad (8)$$

Из условия прочности допускаемый крутящий момент стрелы при треугольном сечении следующий M_b :

$$[M_{bx}]_{[\tau]} = [\tau] * W_{bx} \quad (9)$$

где:

$[\tau]$ – допустимое касательное напряжение.

Из условия жесткости допускаемый крутящий момент для сечения стрелы башенного крана M_b будет следующим:

$$(10)$$

где:

$[\theta]$ – допустимые углы закручивания;

φ – коэффициент надежности по нагрузке.

Для нахождения допускаемого крутящего момента необходимо знать модуль упругости при кручении, формула выглядит следующим образом G :

$$G = \frac{\varepsilon}{2(1+\nu)} \quad (11)$$

где:

ν – коэффициент Пуассона.

Необходимо найти параметр кручения β :

$$\beta = \sqrt{\frac{\varepsilon * \pi^2 * W_{bx}}{G * J_{bx} * L_b^2}} \quad (12)$$

Далее находим параметр нагрузки на стрелу башенного крана E :

$$E = \frac{2\mu * \beta}{\pi * a}$$

где:

$\mu = \frac{a}{2}$ – это место, откуда начинается нагрузка на сечении стрелы.

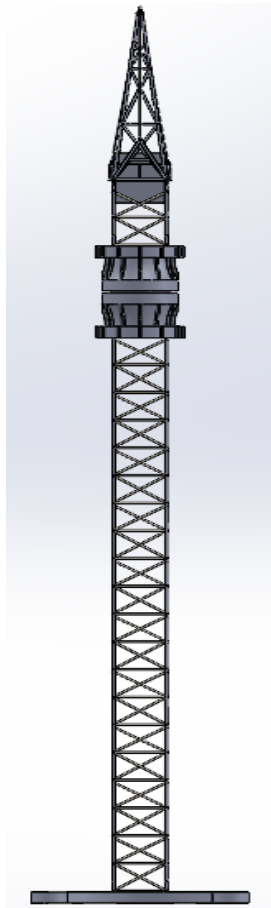
Далее, исходя из параметров, найденных выше, можно найти критическую нагрузку F_b для консольной балки треугольной формы с сосредоточенной нагрузкой 1,1 тонны:

$$F_b = \left(11 \left(1 + \frac{1.2E}{\sqrt{1+1.2^2 E^2}} \right) + 4(\beta - 2) \left(1 + \frac{1.2(E-0.1)}{\sqrt{1+1.2^2 (E-0.1)^2}} \right) \right) \frac{\sqrt{E W_x G J_x}}{L_b^3}$$

Одним из основных преимуществ использования композитных материалов для стрелы башенного крана является возможность существенного снижения веса. Композиты, будучи

по своей природе легкими, способствуют снижению общего веса стрелы. Это снижение веса оказывает каскадное воздействие на всю конструкцию крана, влияя на такие факторы, как транспортные расходы, простота сборки и несущая способность.

Композиты известны своим впечатляющим соотношением прочности к весу. Используя анализ методом конечных элементов (МКЭ), команда инженеров может точно смоделировать и проанализировать конструктивные характеристики композитной стрелы. Это позволило бы провести оптимизацию, гарантируя, что стрела сохранит требуемую прочность при минимизации ненужного веса.



2.3 Размеры башни крана и его прочностной расчет

Для определения точных размеров башни крана мы будем использовать прямоугольную ферму, ширина a_t и длина b_t которой составляет 1,84 метра. Высота башни составляет 46 метров h_t (Рисунок 3) [7]. Один конец башни будет жестко прикреплен фундаментом в землю и на другой конец будет жестко прикреплена стрела, для более наглядных параметров нагрузки.

Общее сжимающее усилие F и момент M , обусловленные поднимаемым весом самой башни, весом груза и весом стрелы, могут быть рассчитаны как:

$$F_{tot} = F_t + F_p + F_b \quad (15)$$

$$M = L_b (F_b + \frac{F_p}{2}) \quad (16)$$

Момент инерции для башни крана будет рассчитываться по следующей формуле:

$$I_t = \frac{M * L_t^3}{2 \epsilon d_t} \quad (17)$$

где:

M – момент кручения, который оказывает на конец башни стрела;

L_t – длина башни;

ϵ – модуль Юнга;

d_t – допустимое отклонение башни.

Получив значения момента инерции I_t , модуля сопротивления

Рисунок 3. Башня крана. R_t и площади поперечного сечения S_t башни крана, общий вес P_t и вес на единицу длины p_t можно рассчитать по следующим формулам [и]:

$$P_t = S_t * \rho * L_t \quad (18)$$

$$p_t = S_t * \rho * 1м \quad (19)$$

Деформация башни, вызванная сжимающей силой d_t , вдоль вертикальной оси равно:

$$d_t = \frac{F_{tot} * L_t}{\varepsilon * S_t} \quad (20)$$

В то время как смещение башни крана поперечно вертикальной оси:

$$d_M = \frac{M * L_t^2}{2\varepsilon * I_t} \quad (21)$$

Максимальное суммарное напряжение σ_t на конце башни определяется суммой напряжения от груза σ_F и от веса σ_p самой стрелы башенного крана, и момента инерции σ_m можно рассчитать по следующей формуле [и]:

$$\sigma_t = \sigma_m + \sigma_p + \sigma_F = \frac{M}{I_t} + \frac{F_t}{S_t} + \frac{F_p}{S_t} \quad (22)$$

Так как башня крана изготовлена из профилей, изготовленных либо из классических стальных материалов, либо из современных композитных материалов, на них также сильное влияние оказывает изгиб [и] при кручении, башня крана при внезапном отклонении вбок начинает выкручиваться из плоскости нагрузки. Для избежания критических положений башни необходимо рассчитать максимальное сопротивление изгибу аналогично со стрелой.

$$S_t = a_t * b_t - a_{t2} * b_{t2} \quad (23)$$

Далее вычисляем геометрические характеристики сечения башни, момент инерции стрелы J_t :

$$J_{ty} = \frac{a_1 * b_1^3 - a_2 * b_2^3}{12} \quad (24)$$

и момент сопротивления изгибу полого прямоугольника W_t :

$$W_{ty} = \frac{a_1 * b_1^3 - a_2 * b_2^3}{6 * b} \quad (25)$$

Из условия прочности допускаемый крутящий момент башни при прямоугольном сечении следующий M_t :

$$[M_{ty}]_{[\tau]} = [\tau] * W_{ty} \quad (26)$$

где:

$[\tau]$ – допустимое касательное напряжение.

Из условия жесткости допускаемый крутящий момент для сечения башни M_t будет следующим:

$$[M_{ty}]_{[\theta]} = [\theta] * G * J_{ty} * \varphi \quad (27)$$

где:

$[\theta]$ – допустимые углы закручивания;

φ – коэффициент надежности по нагрузке;

Для нахождения допускаемого крутящего момента необходимо знать модуль упругости при кручении, формула выглядит следующим образом G [10]:

$$G = \frac{\varepsilon}{2(1+\nu)} \quad (28)$$

где:

ν – коэффициент Пуассона.

Необходимо найти параметр кручения β_t :

$$\beta = \sqrt{\frac{\varepsilon * \pi^2 * W_{ty}}{G * J_{ty} * L_t^2}} \quad (29)$$

Далее находим параметр нагрузки на основе башенного крана E_t :

$$E_t = \frac{2\mu * \beta}{\pi * a} \quad (30)$$

где:

$\mu = \frac{t}{2}$ – это место, откуда начинается нагрузка на сечении башни.

Далее, исходя из параметров, найденных выше, можно найти критическую нагрузку F_t для консольной балки прямоугольной формы с сосредоточенной нагрузкой веса стрелы, балласта и груза:

$$F_t = \left(11 \left(1 + \frac{1.2E}{\sqrt{1+1.2^2E^2}} \right) + 4(\beta - 2) \left(1 + \frac{1.2(E-0.1)}{\sqrt{1+1.2^2(E-0.1)^2}} \right) \right) \frac{\sqrt{EW_{ty}GJ_{ty}}}{L_t^3} \quad (31)$$

Показатели, найденные выше, позволят сравнить результаты, полученные в ходе экспериментальной части. Все допустимые значения, полученные теоретическим путем, позволят показать разницу. Программное обеспечение SolidWorks является наиболее оптимальным для решения данной задачи [8].

Необходимо правильно подобрать материалы для качественного расчета и внести их в алгоритмы программы.

3. Выбор материалов

В нашем исследовании мы будем рассматривать три вида материала: классическую сталь, стекловолоконный и углеволоконный композитные материалы. В качестве стали Ст 45 [9], в качестве композитных материалов будут взяты углеволокно и стекловолокно (Таблица 2) [3].

Таблица 2

Материалы и их характеристики

Вид материала	Модуль Юнга (МПа)	Коэффициент Пуассона ν	Модуль сдвига G (МПа)	Плотность ρ (кг/м ³)	Предел прочности σ_R (МПа)	Текущая $\sigma_{0.1}$ (МПа)	Прочность сжатия X_c (МПа)
Сталь 45	210,000	0.28	79,000	7800	550	241	/
Углеродное волокно	250,000	0.34	76,865	1600	1700	/	670
Стекловолокно	87,000	0.32	32,954	2610	344	/	1240

Свойства углеродных и стекловолокон зависят от окружающей среды, сырья и от процесса создания данных материалов [4]. Композитные материалы в современном мире стали популярны как наиболее эффективный легкий материал для использования их в конструкторской отрасли тяжелых машин [1]. Сейчас инженеры работают над снижением расхода топлива путем облегчения конструкции.

Композитные материалы широко применяются в авиакосмической отрасли, что является показателем для их использования и в других отраслях [5], [6]. Композитные материалы обладают высоким модулем упругости и удельным пределом прочности при растяжении. Благодаря легкому весу и прочностным характеристикам, композитные материалы завоевывают все отрасли машиностроения [5]. Современные композитные материалы обладают высоким модулем упругости за счет увеличения размера кристаллов углерода и стекла. Композитные материалы, в частности, углеродное волокно обладает приемлемой электрической и теплопроводностью [1].

4. Экспериментальная часть

4.1 Создание модели башенного крана

Анализ методом конечных элементов (МКЭ) обеспечивает сложный численный подход для моделирования и анализа структурного поведения материалов в различных условиях. Подвергая классические стальные и композитные конструкции анализу МКЭ, можно получить ценную информацию о распределении напряжений, характере деформаций и общей целостности конструкции [11], путем наложения сетки на конструкцию башенного крана рассчитать каждую соту как отдельно взятую секцию и впоследствии воссоединить данные. При этом башня крана жестко прикреплена к земле при помощи фундамента. Для простоты расчетов стрела была жестко прикреплена к башне крана. Композитные материалы обеспечивают большую гибкость конструкции по сравнению с традиционными материалами, такими, как сталь. Уникальные свойства композитов могут быть использованы для создания сложных и эффективных конструктивных форм, оптимизируя аэродинамику и конструктивную эффективность стрелы. Такая гибкость конструкции может привести к инновационным решениям,

повышающим общую производительность башенного крана. Платформа вращения и тележка башенного крана не были спроектированы на чертеже, так как являются дополнительными элементами, которые нагружают программу и усложняют расчеты [8] (Рисунок 4).

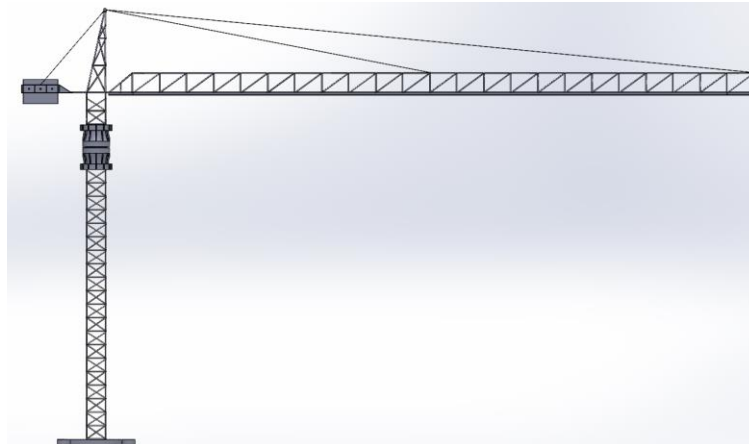


Рисунок 4. 3D-модель башенного крана

4.2 МКЭ-анализ башенного крана из классической стали

Первым материалом будет классическая сталь марки Ст45, ниже будет показано, что кран отклонился от начальных координат при нагрузке в 1,1 тонну и весе балласта 15 тонн на 53 сантиметра, что является хорошим показателем (Рисунок 5):

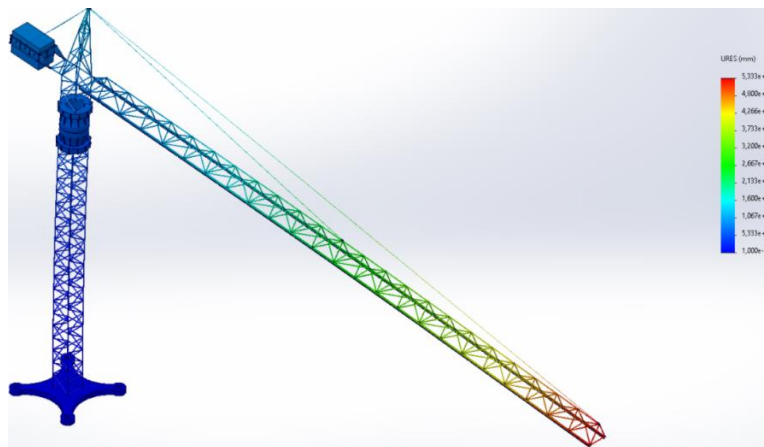


Рисунок 5. Смещение башенного крана из стали

Критерии, которые берутся для расчета напряжения фермы (Рисунок 6) башенного крана, основываются на теории Мизеса-Хенки, также известной как теория энергии формоизменения. В исчислении главных напряжений σ_1, σ_2 , и σ_3 напряжение по Мизесу выражено как [10]:

$$\sigma_{mises} = \left(\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2} \right)^{1/2} \quad (32)$$

Данная теория гласит, что любой пластичный материал разрушается в критических местах, где напряжение достигает предела текучести [10]. Для точного определения предела текучести нами задана стандартная температура в +15 градусов по Цельсию.

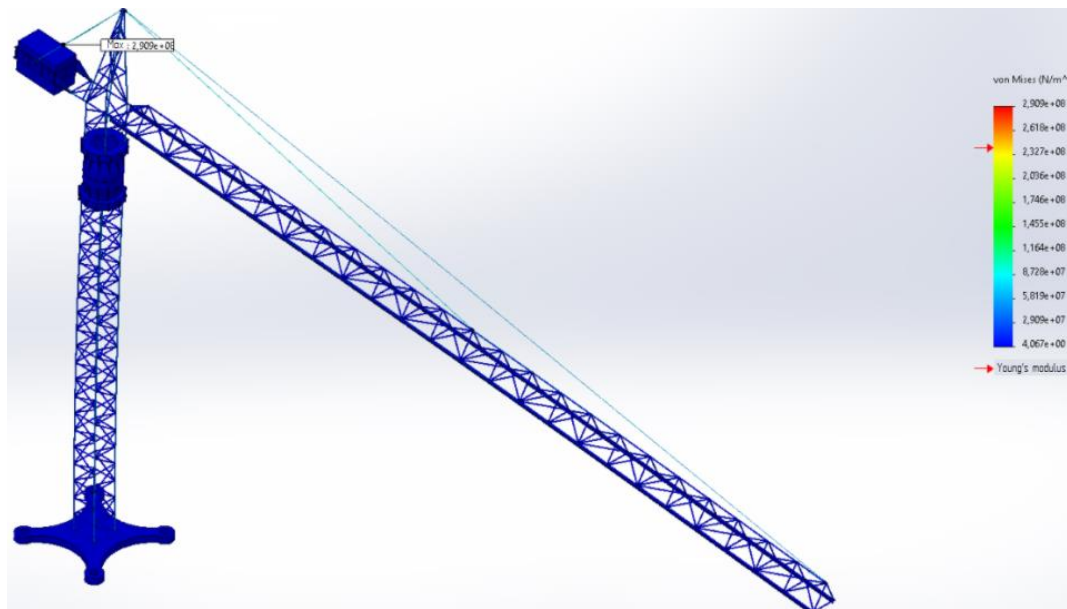


Рисунок 6. Максимальное напряжение крана из стали

На данном чертеже превышенные показатели находятся на концах ттяг, которые удерживают стрелу, для стальных канатов используются другие материалы с другим пределом текучести. Средние показатели для элементов конструкции составляют порядка 45 МПа, что является нормой при 241 МПа допустимого напряжения [9].

4.3 МКЭ-анализ башенного крана из углеволокна

Хотя первоначальные затраты на композитные материалы могут быть выше, следует учитывать потенциальную долгосрочную экономию затрат на транспортировку, сборку и техническое обслуживание. Анализ МКЭ может помочь в оценке стоимости жизненного цикла композитной стрелы, обеспечивая целостное понимание ее экономической жизнеспособности.

Следующий материал, который мы рассмотрим, - это углеволокно, модель Intermediate Modulus, смещение от начальных координат стрелы башенного крана из данного композитного материала составит 67,79 сантиметров, что допустимо (Рисунок 7) [5]:

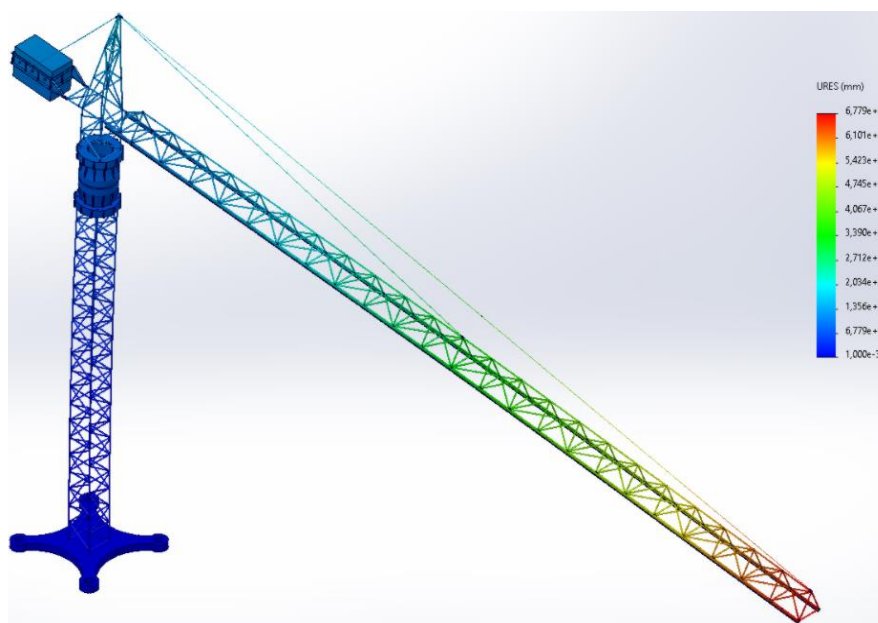


Рисунок 7. Смещение башенного крана из углеволокна

Для расчета напряжения башенного крана из композитного материала необходимы показатели предела прочности на растяжение, так как текучестью они не обладают. Среднее напряжение элементов конструкции составило 58 МПа, что является допуском при пределе прочности в 1700 МПа (Рисунок 8) [1]:

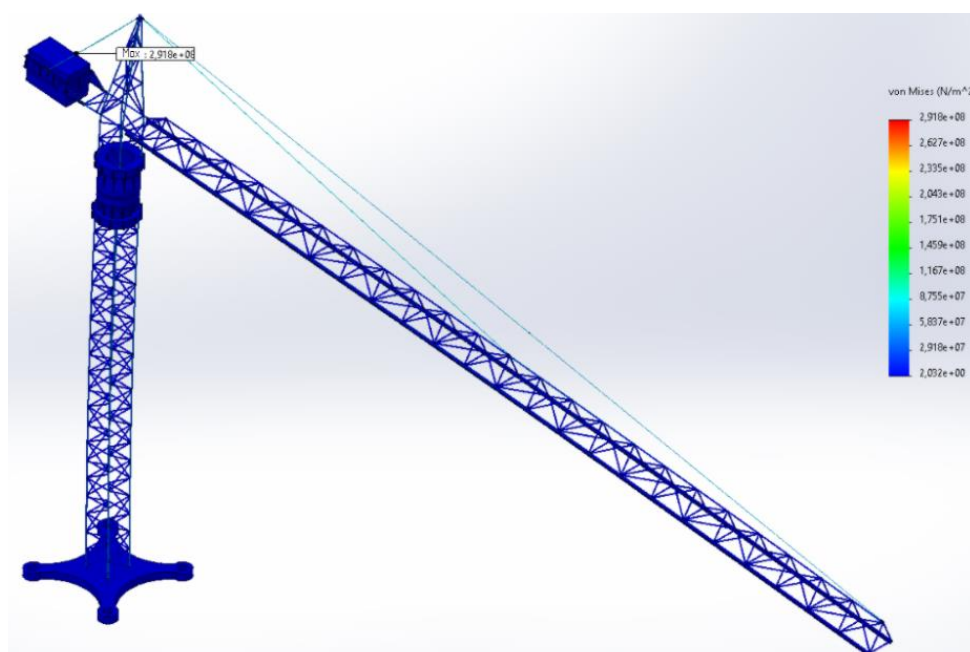


Рисунок 8 - Максимальное напряжение крана из углеволокна

4.4 МКЭ-анализ башенного крана из стекловолокна

Динамический характер работы башенного крана предполагает циклическую загрузку и разгрузку, что со временем может привести к усталости. Композитные материалы могут демонстрировать превосходную усталостную стойкость, поскольку их свойства менее подвержены разрушению при повторных нагрузках. МКЭ-анализ позволяет моделировать эти условия динамического нагружения, помогая инженерам прогнозировать и повышать усталостные характеристики композитной стрелы.

Последний материал, который используется в качестве эксперимента, для строительства башенного крана - это стекловолокно, которое имеет плохие показатели смещения от начальной точки, порядка 3,7 метров (Рисунок 9) [5]:

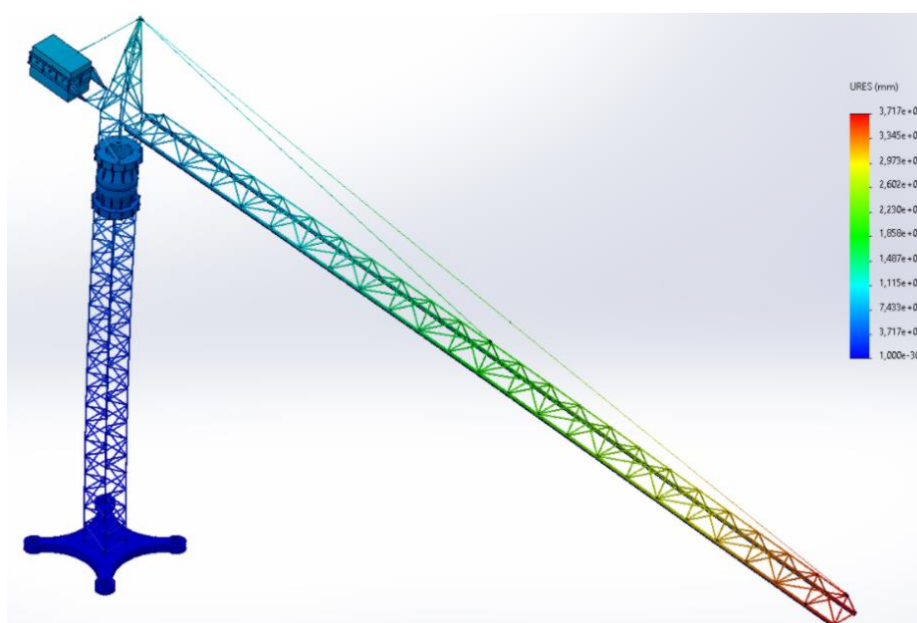


Рисунок 9. Смещение башенного крана из стекловолокна

Для расчета напряжения башенного крана из стекловолокна также необходимы показатели предела прочности при растяжении, так как текучестью они не обладают. Среднее напряжение элементов конструкции составило 60 МПа, что является допуском при пределе прочности в 344 Мпа [3]. Но данный материал показал плохие показатели смещения от начальных координат, что является критичным, так как создает дополнительное качение, что увеличивает нагрузку на конструкцию (Рисунок10):

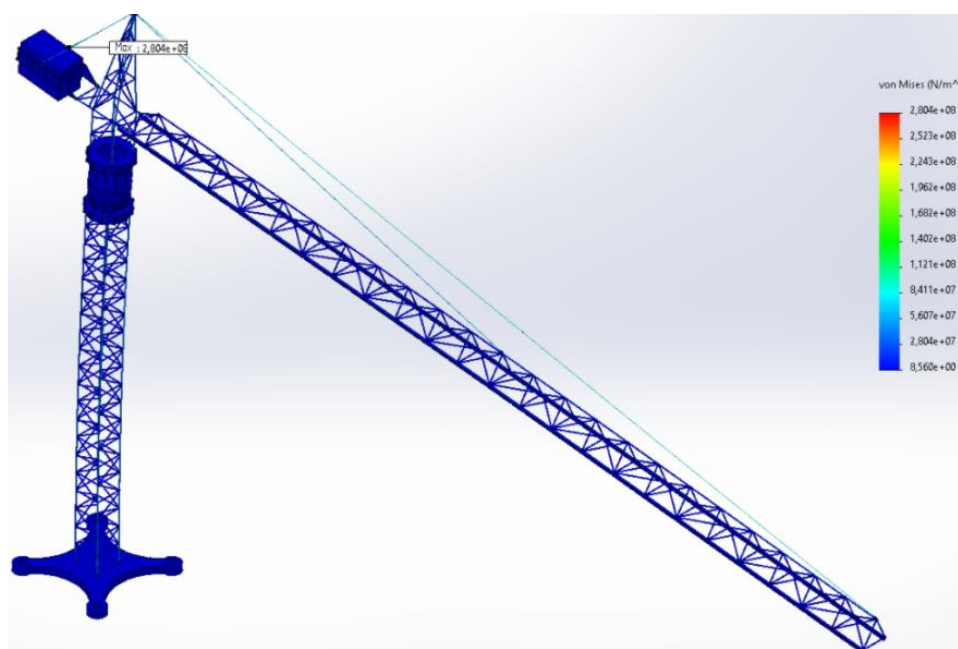


Рисунок 10. Максимальное напряжение крана из стекловолокна

5. Экономическая часть

Из полученных результатов можно отметить, что можно значительно снизить вес крана за счет использования композитных материалов. Для примера: если взять вес башенного крана в 1000 кг, то при таком же расходе материалов, исходя из плотности композитов, вес крана из углеродного волокна – 205 кг, а вес крана из стекловолокна – 334 кг. В процентном соотношении, по сравнению с самым тяжелым стальным краном, вес крана из углеволокна снижен на 79,5 процентов, вес крана из стекловолокна снижен на 66,6 процентов.

Используя анализ методом конечных элементов (МКЭ), в статье проводится всесторонний анализ затрат и выгод как для классической стали, так и для композитных материалов. Это включает в себя тщательную оценку материальных и производственных затрат, транспортных расходов и потенциальной экономии на обслуживании в течение срока службы крана. Тщательно изучая эти экономические аспекты, лица, принимающие решения, могут делать осознанный выбор, основанный на целостном понимании финансовых последствий, связанных с каждым материалом.

Классическая сталь долгое время пользовалась популярностью из-за ее доступности и изобилия. МКЭ-анализ помогает количественно оценить материальные и производственные затраты, связанные со сталью, с учетом таких факторов, как цены на сырье, затраты на обработку и технологии изготовления (11). Аналогичным образом, композитные материалы, хотя и потенциально более дорогие изначально, могут обеспечить долгосрочную экономическую выгоду за счет снижения веса и повышения эффективности конструкции. Целью анализа является четкое сравнение первоначальных затрат и затрат на жизненный цикл, связанных с каждым материалом (Таблица 3).

Таблица 3

Сравнение цены закупки

Материал	Цена за килограмм швеллера (\$)	Вес (кг)	Общая цена (\$)
Сталь	10	1000	10000
Углеродное волокно	72	205	14760
Стекловолокно	15	334	5010

Из данной таблицы можно наблюдать, что цена углеродного волокна за один килограмм больше в 7 раз, а цена стекловолокна в 1,5 раза больше, чем сталь. Но если брать с объемами, необходимыми для строительства башенного крана, углеродное волокно будет стоить дороже в 1,5 раза, а стекловолокно дешевле вдвое. Из этого можно сделать выводы, что при закупке материалов для строительства затраты будут незначительны.

Также стоит отметить, что компоненты башенных кранов часто приходится транспортировать на строительные площадки, и вес материалов существенно влияет на транспортные расходы. Уменьшенный вес композитных материалов, как показал анализ методом конечных элементов, потенциально может привести к снижению транспортных расходов. Понимание того, как каждый тип материала влияет на логистические соображения, жизненно важно для эффективного планирования проекта и управления затратами.

6. Вывод

В постоянно меняющейся тенденции разработки башенных кранов всесторонний сравнительный анализ классической стали и композитных материалов, дополненный анализом методом конечных элементов (МКЭ), раскрывает тонкое понимание их конструктивных характеристик и экономической эффективности. Это исследование выходит за рамки традиционной дихотомии, предлагая ценные идеи, которые находят отклик как с инженерной точностью, так и с экономической целесообразностью.

МКЭ-анализ позволил получить глубокое представление о структурном поведении классической стали и композитных материалов в различных условиях. Изучение соотношения прочности к весу, реакции на динамические нагрузки и анализ усталости выявили уникальные свойства каждого материала. Инженеры и лица, принимающие решения, могут использовать эти знания для адаптации конструкций башенных кранов к конкретным требованиям проекта, обеспечивая оптимальную производительность и надежность. Экспериментальная часть показала, что углеродное волокно обладает схожими параметрами по уровню надежности, что и стальной башенный кран, но весит в 5 раз меньше классического. Стекловолокно, хоть и обладает малым весом, но имеет низкую прочность при растяжении, что является минусом.

Помимо непосредственных затрат, анализ МКЭ может быть интегрирован в подход к оценке жизненного цикла. Это включает оценку воздействия материалов на окружающую

среду от добычи и производства до утилизации по истечении срока службы. Оценка жизненного цикла предоставляет всестороннее представление об экологическом воздействии, помогая заинтересованным сторонам принимать решения, согласованные с практикой устойчивого строительства.

Подводя итог, можно сказать, что цель статьи - дать лицам, принимающим решения, глубокое понимание экономических последствий и соображений устойчивости, связанных с использованием классической стали и композитных материалов при разработке башенных кранов. МКЭ-анализ служит важнейшим инструментом для выяснения тонкостей этих факторов, позволяя проводить сбалансированную оценку, учитывающую как краткосрочные финансовые соображения. Экономическая часть показала, что композитные материалы являются дорогими, но так как данные материалы обладают большим объемом, их потребуется значительно меньше при создании башенного крана.

Поскольку строительная отрасль продолжает осваивать технологические достижения, знания, почерпнутые из этого сравнительного анализа, служат катализатором будущих инноваций. Синергия между классической сталью и композитными материалами, закладывает основу для прогрессивной траектории развития башенных кранов. Этот вывод является не конечной точкой, а ступенькой к будущему, в котором методы строительства органично сочетают долговечность, эффективность и экологичность.

По сути, кульминация этого исследования означает установление моста между традициями и инновациями, предоставляя заинтересованным сторонам дорожную карту, позволяющую ориентироваться в сложностях разработки башенных кранов. С помощью анализа МКЭ статья продвигает строительную индустрию к будущему.

Установлено, что использование программных продуктов, как SolidWorks, МКЭ и др. позволяет провести сравнительный анализ различных материалов, используемых при проектировании конструктивных элементов башенного крана, определить параметры надежности и эффективности.

В экспериментальной части выявлено, что углеволокно обладает схожими параметрами по уровню надежности, что и стальной башенный кран, но весит в 5 раз меньше классического. Стекловолокно, хоть и обладает малым весом, но имеет низкую прочность при растяжении, что является минусом.

Предлагаемая методика расчета позволяет получить глубокое представление о структурном поведении классической стали и композитных материалов в различных условиях, закладывает основу для прогрессивной траектории развития башенных кранов

Вклад авторов:

Тулеков А.Б. – концепция, методология, сбор данных, экспериментальная часть.

Сазамбаева Б.Б. – моделирование, анализ, визуализация, заключение.

Кенесбек А.Б. – анализ литературы, помощь с экспериментом, моделирование.

Кенесбек И.Б. – визуализация, интерпретация, написание, редактирование.

Список литературы

1. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы. – Томский политехнический университет. – 2013. – 117с.
2. Michael F.Ashby. Material and Sustainable Development. – Butterworth-Heinemann. – 2016. – 312.
3. Michael F.Ashby. Engineering Materials 1: an introduction to properties, applications and design. – Elsevier. – 2012. – 474.
4. Michael F.Ashby. Engineering Materials 2: an introduction to microstructures and processing. – Elsevier. – 2013. – 553.
5. F.C Campbell. Structural Composite Materials. – ASM International. – 2010. – 629.
6. Богданов А.П., Гайнуллин А.А., Ефимов А.А., Левкович Р.В., Наумов Д.С., Окулов К. Ю. Обзор методов укрупненной оценки остаточного ресурса оборудования, эксплуатируемого на опасных производственных объектах. – Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – № 1(11). – С. 98-105.
7. bakran.ru. Китайские башенные краны QTZ80A. – <http://bakran.ru/bashennyj-kran-qtz-80.html>. – 2024.
8. Алямовский А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. – М. – БХВ-Петербург. – 2016. – 800 с.
9. «Марочник стали и его сплавов». Характеристика материала Ст45. – splav-kharkov.com. – 2024.
10. Наварский Ю.В. Грузоподъемные машины: учебно-методическое пособие. – Екатеринбург. – 2006. – 100 с.
11. M.I. Raenko, N.D. Cainov. The Application of a Finite element Model of Nonlinear Continuous Medium in the Analysis of the Stress-Strain State of Structure Members. - Proceedings of Higher Educational Institutions. - Machine Building. – 2018.

А. Тулеков¹, Б. Сазамбаева¹, Б. Тогизбаева¹, И. Кенесбек¹

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
E-mail: auezkhan1337@gmail.com, a.sazambaeva_t@mail.ru, inkara_9898@mail.ru

Мұнара крандарын жасау үшін инновациялық материалдарды пайдалану

Аңдатпа. Мақалада классикалық болат пен композициялық материалдарға салыстырмалы талдау жасалып, олардың сәйкес қасиеттері мен қолдану салалары мұнара крандарының дамуы аясында зерттеледі. Зерттеу ақпараттарының үйлесімі құрылыс индустриясында материалдарды таңдау негізінде қалыптасатын көп қырлы шешім қабылдау процесін көрсететін беріктік, салмақ және құн сияқты факторларды ескереді.

Құрылыс индустриясының ажырамас бөлігі болып табылатын мұнара крандарының беріктігі дәстүрлі классикалық болаттан жасалуына байланысты. Дегенмен, композициялық материалдардың пайда болуы жоғары беріктік пен аз салмаққа тәуелді бола отырып, бұл нормаға қайшы келеді. ШЭЭ талдауы кернеудің таралуын, деформация сипатын және жалпы тұтастықты жан-жақты түсінуді қамтамасыз ететін әртүрлі жағдайларда осы материалдардың құрылымдық сипатын модельдеу үшін қолданылады. Мақалада беріктік пен салмақтың

арақатынасы, динамикалық жүктеме және экономикалық тиімділік сияқты маңызды факторлар қарастырылады. Бұл сайып келгенде мұнара крандарын жобалау және құрастыру бойынша нақты шешімдер қабылдауда құнды ақпарат береді. Мұндай жан-жақты талдау жүйесі материалдарды құрылымдық сипаттамалары бойынша егжей-тегжейлі салыстыруды жеңілдетіп, олардың тиісті артықшылықтары мен шектеулерін айқындайды.

Мақаланың мақсаты - инженерлерге, шешім қабылдаушыларға және сала мамандарына мұнара крандарын дамыту контекстінде классикалық болат пен композициялық материалдардың конструктивті сипаты мен динамикалық қасиеті туралы жан-жақты түсінік беру. Компьютерлік модельдеуді қолдана отырып, зерттеу құрылыс индустриясында мұнара крандарының тиімді, сенімді және тұрақты технологияларын ілгерілетуге жол ашып, стратегиялық шешімдер қабылдау үшін маңызды мағлұмат береді.

Түйін сөздер: мұнара краны, жүк көтергіш машиналар, композиттік материалдар, көмірсулар, шыны талшық, ШЭӘ талдауы.

A. Tulekov¹, B. Sazambayeva¹, B. Togizbayeva¹, I. Kenesbek¹

1L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan

E-mail: auezkhan1337@gmail.com, a.sazambaeva_t@mail.ru, inkara_9898@mail.ru

The use of innovative materials for the development of tower cranes

Abstract. This article provides a comparative analysis of classical steel and composite materials, explores their respective properties and applications in the context of the development of tower cranes. The combination of these materials takes into account factors such as strength, weight, cost and durability, reflecting the multifaceted decision-making process that shapes the choice of materials in the construction industry.

Tower cranes, an integral part of the construction industry, have traditionally been made of classic steel because of its strength. However, the advent of composite materials challenges this norm, promising high strength and lower weight. FEM analysis is used to model and analyze the structural behavior of these materials under various conditions, providing a comprehensive understanding of stress distribution, strain patterns, and overall integrity. The article examines such important factors as the strength-to-weight ratio, dynamic load and economic efficiency, which ultimately provides valuable information for making informed decisions in the field of design and construction of tower cranes. This comprehensive understanding facilitates a detailed comparison of these materials in terms of their design characteristics, shedding light on their respective advantages and limitations.

In fact, the purpose of this article is to give engineers, decision makers, and industry professionals a comprehensive understanding of the structural intricacies and dynamic behavior of classical steel and composite materials in the context of tower crane development. Using computer modeling, the study provides valuable information for strategic decision-making, paving the way for the advancement of efficient, reliable and sustainable tower crane technologies in the construction industry.

Keywords: tower crane, lifting machines, composite materials, carbon fiber, glass fiber, FEM analysis.

References

1. L.I. Bondaletova, V.G. Bondaletov. Polimernye kompozicionnye materialy [Polymer composite materials]. – Tomskij politekhnicheskij universitet. – 2013. – 117s.
2. Michael F.Ashby. Material and Sustainable Development. – Butterworth-Heinemann. – 2016. – 312.
3. Michael F.Ashby. Engineering Materials 1: an introduction to properties, applications and design. – Elsevier. – 2012. – 474.
4. Michael F.Ashby. Engineering Materials 2: an introduction to microstructures and processing. – Elsevier. – 2013. – 553.
5. F.C Campbell. Structural Composite Materials. – ASM International. – 2010. – 629.
6. Bogdanov A. P., Gajnullin A. A., Efimov A. A., Levkovich R. V., Naumov D. S., Okulov K. YU. Obzor metodov ukрупnennoj ocenki ostatochnogo resursa oborudovaniya, ekspluatiruemogo na opasnyh proizvodstvennyh ob'ektah [Review of methods for the integrated assessment of the residual life of equipment operated at hazardous production facilities]. – Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk. – 2015. – № 1(11). – S. 98–105.
7. bakran.ru. Kitajskie bashennye kраны [Chinese tower cranes QTZ80A] QTZ80A. – <http://bakran.ru/bashennyj-kran-qtz-80.html>. – 2024.
8. Alyamovskij A.A. SolidWorks. Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike [Computer modeling in engineering practice]. – М. – BHV-Peterburg. – 2016. – 800 с.
9. «Marochnik stali i ego splavov». Harakteristika materiala St45 [Characteristics of the St45 material]. – splav-kharkov.com. – 2024
10. Navarskij YU.V. Gruzopod"emnye mashiny. Uchebno-metodicheskoe posobie [Lifting machines. Educational and methodical manual]. – Ekaterinburg. – 2006. – 100s.
11. M.I. Raenko, N.D. Cainov. The Application of a Finite element Model of Nonlinear Continuous Medium in the Analysis of the Stress-Strain State of Structure Members. - Proceedings of Higher Educational Institutions. - Machine Building. – 2018.

Сведения об авторах:

А.Б. Тулеков – докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Б.Б. Сазамбаева – доктор технических наук, профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

С.Б. Тогизбаева – доктор технических наук, профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

И.Б. Кенесбек – докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

А.Б. Төлеков – Көлік, көлік техникасы және технологиялардың үшінші курс докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан;

Б.Б. Сазамбаева – техника ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан;

С.Б. Тогизбаева – техника ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан;

И.Б. Кеңесбек – Көлік, көлік техникасы және технологиялардың бірінші курс докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан.

А.В. Tulekov – third-year doctoral student in Transport, Transport Engineering and Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan;

В.В. Sazambayeva – Doctor of Technical Sciences, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan;

С.В. Togizbayeva – Doctor of Technical Sciences, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan;

І.В. Kenesbek – first-year doctoral student in transport, Transport Engineering and Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



FTAMP 55.31.29

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-222-235>

Ғылыми мақала

Тіскесуші құралдардың тұрақтылығы мен тозуын зерттеу

Г. Таттимбек¹, К.Т. Шеров*², С.С. Айнабекова³, Е.Б. Иманбаев⁴,
Г.М. Тусупбекова⁵

^{1,2,5} С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

³Қарағанды индустриалдық университеті, Теміртау, Қазақстан

⁴«Электровоз құрастыру зауыты» ЖШС, Астана, Қазақстан

(E-mail: ¹tattimbekova91@mail.ru, ²shkt1965@mail.ru, ³asaules@mail.ru, ⁴y.imanbayev@gmail.com,
⁵gulim_tus@mail.ru)

Аңдатпа. Мақалада тіскесу құралдарының тозу проблемасының жай-күйін зерттеу нәтижелері келтірілген. Ғылыми зерттеудің мақсаты тіскесуші құралдардың тозу себептерін анықтау, сондай-ақ, үлкен модульді цилиндрлік тісті доңғалақтарының ойымдарын өңдеудің жаңа әдісін және оны жүзеге асыру үшін арнайы құрал құрылымын жарату. Тіскесу құралдарының тозуын зерттеу бойынша ғылыми жұмыстарға шолу жасалды және тозу қарқындылығына әсер ететін факторлар анықталды. Тіскесу құралының тозуына ықпал ететін негізгі факторлардың бірі өңделетін тісті доңғалақтың модулі болып табылатыны және ол ұлғайған сайын құралдың тозуы сәйкесінше арта түсетіні айқындалды. Бұл әсіресе үлкен модульді цилиндрлік тісті доңғалақтарды өндіруде, атап айтқанда тіс ойымдарын өңдеу процесінде орын алады. Онда құралдың тозу қарқындылығы артады, өңдеудің дәлдігі мен өнімділігі төмендейді, сонымен қатар операцияның өзіндік құны жоғарылайды. Процестің бұл күйін, ең алдымен, тісті доңғалақ ойымдарынан металдың үлкен көлемін алып тастау қажет екендігімен байланыстыруға болады. Бұл мәселені шешу үшін үлкен модульдік цилиндрлік тісті доңғалақ тістерінің ойымдарын термофрикциялық өңдеудің жаңа ресурсты үнемдейтін әдісі ұсынылады. Цилиндрлік тісті доңғалақ ойымдарын термофрикциялық жонғылау және импульсті салқындатуға ие термофрикциялық жонғылау әдістерімен өңдеуге арналған модульдік тегерікті үйкеліс жонғыштарының конструкциясы әзірленді. Тегіс модульдік тегерікті үйкеліс жонғыштың және оны токарлық винткесуші білдекке бекіту үшін арнайы әбзелдің тәжірбиелі үлгілері жасалды.

Кілт сөздер: Тіскесу құралының тозуы, үлкен модульді тісті доңғалақтар, тұрақтылық кезеңі, термофрикциялық өңдеу, үйкеліс жонғышы.

Түсті: 12.02.2024 Жөнделді: 27.02.2024 Мақұлданды: 01.02.2024 Онлайн қолжетімді: 29.03.2024

² * хат-хабар үшін автор

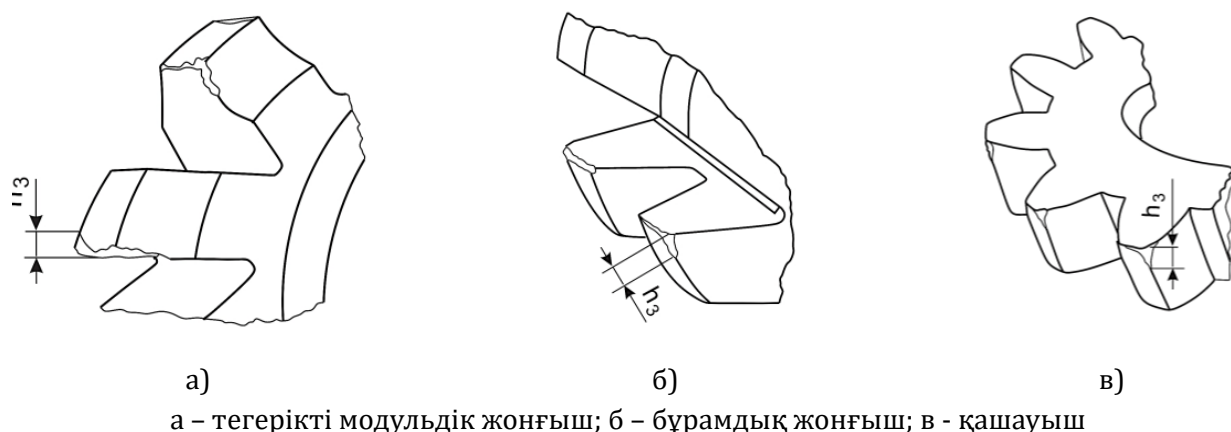
Кіріспе

Көптеген салаларда, мысалы, аграрлық өндіріс кешені техникасы және машиналар, металлургиялық, газ-мұнай өндіру саласы технологиялық жабдықтарын даярлау және т.б. әзірлеп шығаруда тісті дөңгелектер жиі қолданылады. Елімізде қарқынды өркендеп келе жатқан өндіріс салаларының ауқымын ескеретін болсақ, тісті дөңгелектер даналап емес сериялап шығару қажеттігін көруге болады. Осы тұрғыдан қарағанда оларды даярлау процестерін автоматты білдектерде орындау тиімділігі айқын көрінеді. Бірақ қазіргі уақытта механикалық өңдеу саласында қолмен басқарылатын әмбебап білдектер кең қолданылатынын есепке алсақ, оларды өңдеу ең күрделі және жоғары еңбексыйымдылыққа ие екендігін анықтауға болады. Сондай-ақ, тісті дөңгелектерді өңдеу екі механикалық операциядан тұратыны белгілі. Бірінші операцияда алдын-ала өңдеу процесін орындайды және мұнда дайындама материалының 70-80%-ы алынады. Екінші операция таза өңдеу операциясы болып табылады. Бұл операцияда тістің соңғы пішіні талап етілген дәлдік және сапамен қалыптасады. Осы аяқтаушы операция ең жауапты болып табылады және оның сапасын белгілейді. Әлемдік практикада цилиндрлік тісті доңғалақтар кеңінен қолданылды, олардың өндірісі жылына жүздеген миллион дананы құрайды. Жеке, сериялық және жаппай өндіріс жағдайында цилиндрлік тісті доңғалақтарды кесудің негізгі әдісі көлденең жону білдектерінде көшіру әдісімен тегерікті модульдік жонғыштармен тісжонғылау болып табылады.

Тісті берілістер көптеген құрылғылардың дұрыс жұмыс істеуі үшін өте маңызды екені белгілі, ал оларды жасау технологиясы әртүрлі жұмыс жағдайларында тораптар мен механизмдердің сапасы мен тұрақтылығын анықтайды. Ғалымдар мен өндірушілердің көптеген жұмыстары тіс өңдеудің дәлдігін арттырудың технологиялық әдісімен тісті берілістерді өндірудің дәлдігі мәселелеріне арналған. Материал мен кескіш құралдың минимум шығындарымен дәлдік пен сапаны технологиялық қамтамасыз ету негіздерін одан әрі дамыту машина бөлшектерін, әсіресе тісті доңғалақтарды және соған ұқсас тісті бөлшектерді өндіруде өзекті мәселе болып саналады [1,2]. Бұл мәселе әсіресе үлкен модульді тісті доңғалақтарды өндіруде өзекті болып отыр. Үлкен модульдік тісті доңғалақтарды өңдеу технологиясы белгілі бір қиындықтармен байланысты. Бұл, ең алдымен, доңғалақтардың тісті тәждерінің ойымдарынан үлкен көлемдегі металды алып тастау қажеттілігінен туындайды. Бұл мәселенің шешімі үлкен модульді цилиндрлік тісті доңғалақтарының ойымдарын өңдеудің ресурс үнемдейтін технологиясын жасау болып табылады.

Зерттеу тәсілдері

Тіскесу құралы салыстырмалы түрде жұқа жоңқалар аймағында жұмыс істейді, сондықтан тіс негізінен артқы жағында және әртекті тозады, өйткені жұмыс кезінде профильді сақтау керек Содан кейін артқы бетіндегі рұқсат етілген тозудың орташа мәндері әдетте аз болады [3]. 1-суретте тіскесу құралдары тістерінің тозу сызбасы көрсетілген.



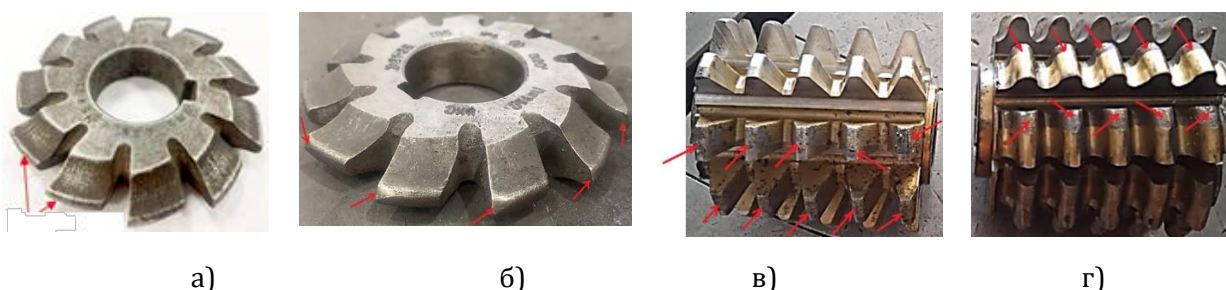
1-сурет – Тістің артқы бетіндегі тозу

Тозу біркелкі емес; тістің бұрыштарындағы ең үлкен тозу, ол шектеуші деп қателеседі (1-кесте). Жоғары жылдамдықты болаттан жасалған бұрамдық жонғыштардың төзімділік кезеңі 55-тен бастап 360 минутқа дейінгі нормативтерге сәйкес қабылданады, құрал күрделі және қайта қайрау құны жоғары.

1-кесте – Тіскесу құралдарының рұқсат етілген тозу мәндері

Құрал	Өңдеу	Артқы бетінде мм-де рұқсат етілген тозу (тістің ұшы)
Тегерікті модульдік жонғыш	қаралтым	0,2-0,4
	қаралтым	0,8-1,2
Бұрамдық жонғыш	қаралтым	0,2-0,4
	қаралтым	0,5-0,8
Тегерікті қашауыш	қаралтым	0,06-0,12
		0,8-1,0

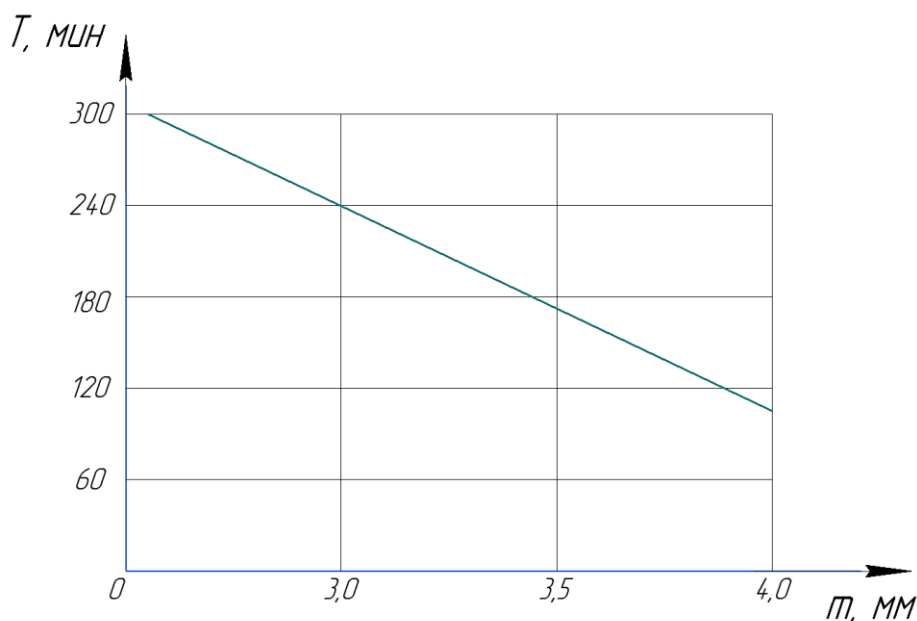
2-суретте тозған тіскесу құралдарының суреттері көрсетілген



2-сурет – Тозған тіскесу құралдарының суреттері

Белгілі бір уақыттан кейін артқы жақтардағы тозу өлшенді. Өлшеу деректері бойынша тозу қисықтары салынды, олардың ішінен мұқалу критерийі ретінде қабылданған тозудың белгілі бір мөлшеріне дейін домалату құралының жұмыс уақыты анықталды. Содан кейін тәжірибелі деректер өңделіп, әр түрлі параметрлерге төзімділік тәуелділігі анықталды.

4-суретте цилиндрлік тісті доңғалақ модулінен домалату құралының (тісқырғыш-домалатқыш) беріктік графигі көрсетілген.



$m = 3,5 \text{ мм}$; $S_z = 0,01 \text{ мм/тис}$; $z_k = 24$; тісқырғыш-домалатқыш –ШХ-15, дайындама – болат 40Х; $V=35 \text{ м/мин}$, НТ-250И жону білдегінде өңдеу

4-сурет – Домалату құралы (тісқырғыш-домалатқыш) беріктігінің цилиндрлік тісті доңғалақ модуліне тәуелділігі

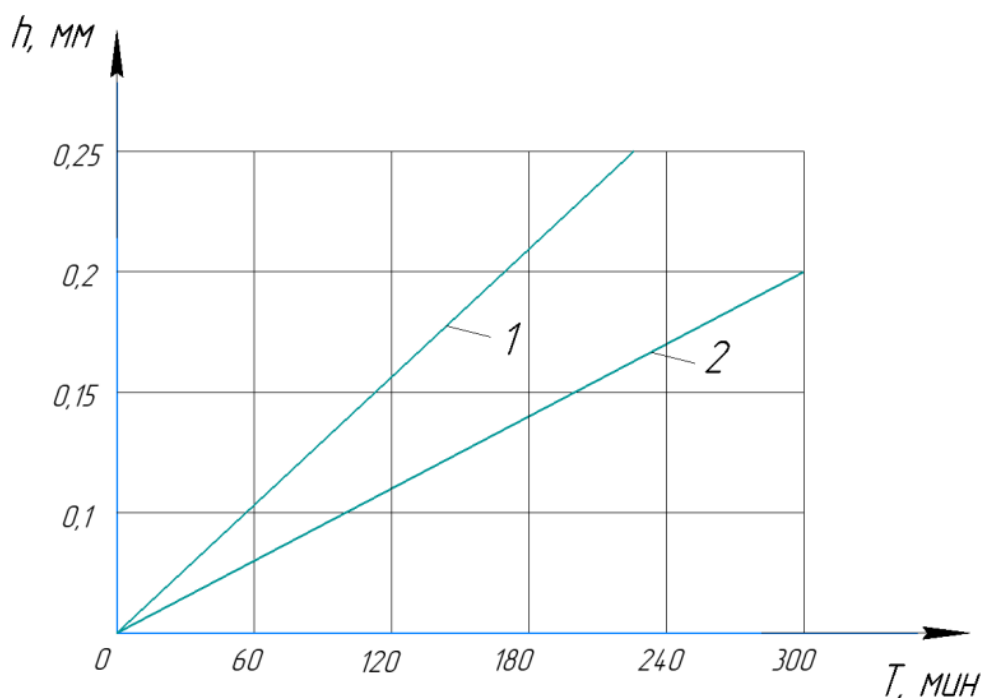
Модульдің азаюымен стандартты тісқырғыштың тісімен алынып тасталатын қабаттың қалыңдығы жұқарады, бұл тозуды азайтады және домалату құралының (тісқырғыш-домалатқыш) беріктігін арттырады.

Кесуші құралдың тозуға төзімділік кезеңін сақтау, өңдеу операциясының өнімділігін арттыруға, оның өзіндік құнын төмендетуге өңдеу процесін оңтайлы кесу режимдерін орындағанда ғана қол жеткізіледі. Тозуға төзімділікті арттыру көптеген факторларға тәуелді болады: тетік және кесуші құрал материалдарына, олардың физикалық-механикалық қасиеттеріне, салқындату сұйығына, кесу режимдерінің мәндеріне және т.б.

Кесу жылдамдығы неғұрлым жоғары болса, машина уақыты соғұрлым аз болады және жұмыс өнімділігі соғұрлым жоғары болады. Өңдеу кезінде кесу жылдамдығын арттыру кесуші құралдың тозуын жеделдетіп, оның беріктік қасиетіне кері әсер етуі әбден ықтимал. Кесу жылдамдығының мәні тісті дөңгелекті дайындауға қойылатын сапа және дәлдік

көрсеткіштерінің деңгейімен анықталады. Жұмыста кесу жылдамдығы домалату құралының (тісқырғыш-домалатқыш) тозуы мен тұрақтылығына әсері де зерттелген [6].

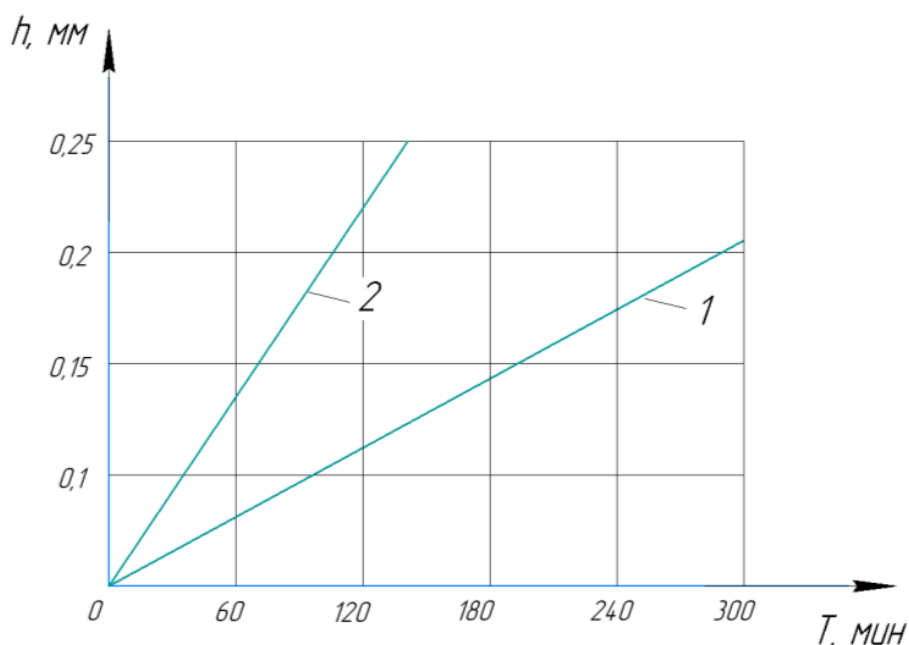
5-суретте жұмыс уақыты мен кесу жылдамдығынан және аспаптық материалдан жылжымалы құралдың (тісқырғыш-домалатқыш) тозуының өзгеруі көрсетілген.



$m = 3,5$ мм; $S_z = 0,01$ мм/тиc; $z_k = 24$; тісқырғыш-домалатқыш –ШХ-15, дайындама – болат 40Х; 1– $V=35$ м/мин, НТ-250И жону білдегінде өңдеу; 2– $V=45$ м/мин, НТ-250И жону білдегінде өңдеу

5-сурет – Жұмыс уақыты мен кесу жылдамдығынан домалату құралының тозуына әсер ету графигі

6-суретте жұмыс уақытына және құрал материалына байланысты домалату құралы тозуының өзгеруін көрсететін график көрсетілген.



$m = 3,5$ мм; $S_z = 0,01$ мм/тис; $Z_k = 24$; тисқырғыш-домалатқыш – ШХ-15, дайындама – болат 40Х; 1– НТ-250И жону білдегінде Р18 өңдеуден алынған тисқырғыш-домалатқыш; 2– НТ-250И жону білдегінде ШХ-15 өңдеуден алынған тисқырғыш-домалатқыш

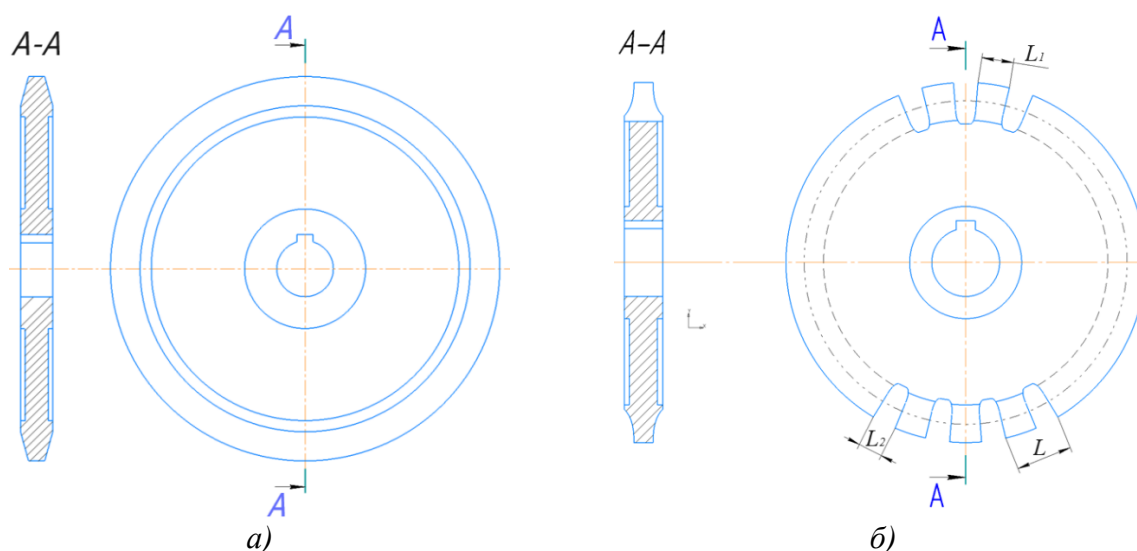
6-сурет – Жұмыс уақытынан және аспаптық материалдан домалату құралының тозуына әсер ету графигі

Ұсынылған мәліметтерден (5 және 6-суретті қараңыз) көрініп тұрғандай, домалату құралымен (тисқырғыш-домалатқыш) өңдеу үшін шарлы мойынтіректік болаттан жасалған (ШХ-15) жаңа әдіс пен домалату құралдарын қолдану жону білдегінде құралдың қызмет ету мерзімін 1,6...1,8 есе арттырады, сонымен қатар қымбат тіс өңдеу білдегінің құнын төмендетуге мүмкіндік береді. Шарлы мойынтіректік болаттан (ШХ15) жасалған тіс өңдеу құралын қолдану өңдеу өнімділігін арттырумен қатар, қажетті дәлдікті, өлшемдердің тұрақтылығын, өңделетін доңғалақ тістері бетінің жоғары сапасын қамтамасыз етеді және технологиялық мүмкіндіктерді кеңейтеді. Сондай-ақ аспаптық материалдардың орнына конструкциялық болаттарды қолдануға мүмкіндік беретін термофрикциялық өңдеу әдістері белгілі [7,8,9,10]. Үлкен модульді цилиндрлік тісті доңғалақтар тістерін өңдеуде термофрикциялық кесу технологияларын қолдану үшін [11,12,13,14,15] жұмыста алынған нәтижелер практикалық және ғылыми тұрғыдан негіз бола алады. Үлкен модульді цилиндрлік тісті доңғалақтарды өндіруде, оның тістерінің ойықтарын қалыптастыру күрделі және жоғары еңбек сыйымдылығына ие болады. Бұл процесті орындау құралдың тозу қарқындылығының жоғарылауымен, өңдеу дәлдігі мен өнімділігінің төмендеуімен, сондай-ақ операцияның өзіндік құнының артуымен бірге жүреді.

Сонымен қатар, өңделетін тісті доңғалақтар модулі ұлғайған сайын құралдың тозуы сәйкесінше артады, бұл оның беріктік кезеңіне теріс әсер етеді (4-суретті қараңыз).

Нәтижелер мен талқылаулар

Мәселенің жай-күйін зерттеу нәтижелері үлкен модульді цилиндрлік тісті доңғалақтарды өңдеудің жаңа әдісін және оны жүзеге асыру үшін арнайы құралдың конструкциясын жасау қажеттілігін талап етеді. Қазіргі уақытта С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің “Технологиялық машиналар және жабдықтар” кафедрасында ірі модульді цилиндрлік тісті доңғалақтардың тістерін өңдеудің термофрикциялық әдісін әзірлеу бойынша ғылыми зерттеулер жүргізілуде. Цилиндрлік тісті доңғалақтардың тіс ойымдарын термофрикциялық жонғылау және импульсті салқындату арқылы термофрикциялық жонғылау әдістерімен өңдеуге арналған модульдік тегерікті үйкеліс жонғыштарының конструкциялары әзірленді. 7-суретте модульдік тегеріктік үйкеліс жонғыштарының конструкциялары көрсетілген.

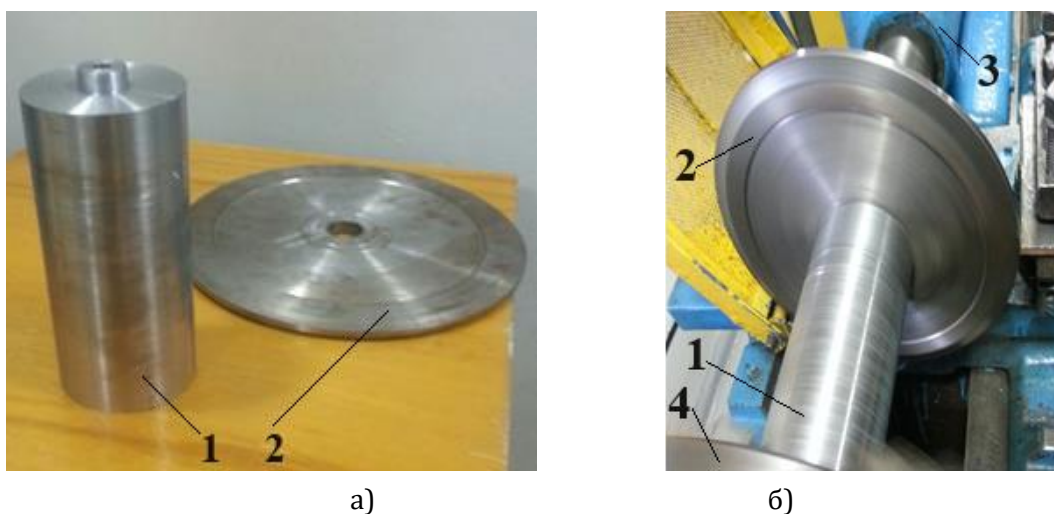


а – тегіс модульді тегеріктік үйкеліс жонғышы; б – ойықтары бар модульдік тегеріктік үйкеліс жонғышы; L – қыздыру және салқындату аймағының қадамы; L1 – қыздыру аймағы; L2 – салқындату аймағы

7-сурет – Модульді тегеріктік үйкеліс жонғыштарының конструкциялары

Тегіс модульдік тегеріктік үйкеліс жонғышының тәжірибелік үлгілері және оны 1К62 токарлық-винткескіш білдекке орнатуға арналған арнайы әбзел жасалды.

8-суретте тегіс модульдік тегеріктік үйкеліс жонғышының және арнайы әбзелдің фотосуреттері көрсетілген



- а – арнайы жабдық және тегіс модульдік тегерікті үйкеліс жонғышы;
б – 1К62 токарлық-винткескіш білдекте тегіс модульдік тегерікті үйкеліс жонғышын бекіту;
1 – арнайы жабдық; 2 - тегіс модульдік тегерікті үйкеліс жонғышы; 3 – артқы басша;
4 – үшжұдырықшалы қысқы

8-сурет – Тегіс модульдік тегерікті үйкеліс жонғышының және арнайы әбзелдің фотосуреттері

Сондай-ақ, импульсті салқындату арқылы термофрикциялық жонғылау әдісін жүзеге асыру үшін ойықтары бар модульдік тегерікті үйкеліс жонғышының тәжірбиелік үлгісін жасау бойынша жұмыстар аяқталды.

Қорытынды

1. Тіскесу құралдарының тозуын зерттеу тіскесу құралдарының тістері негізінен артқы бет бойынша тозатынын және олардың біркелкі емес екенін көрсетті.
2. Өңделетін тісті доңғалақтардың модулінің ұлғаюымен құралдың тозуы сәйкесінше жоғарылайтыны анықталды, бұл оның қызмет ету мерзіміне теріс әсер етеді.
3. Үлкен модульді цилиндрлік тісті доңғалақтарды өндіруде әсіресе күрделі және еңбекті көп қажет ететін құралдың тозу қарқындылығының жоғарылауымен, өңдеудің дәлдігі мен өнімділігінің төмендеуімен, сондай-ақ операцияның өзіндік құнының жоғарылауымен бірге жүретін тіс ойымдарын өңдеу процесі екендігі анықталды. Бұл мәселенің шешімі – үлкен модульді цилиндрлік тісті доғалақтарының ойымдарын өңдеудің жаңа әдісін және оны жүзеге асыру үшін құралдың конструкциясын жасау. Осыған байланысты қазіргі уақытта цилиндрлік тісті доңғалақтардың ойымдарын термофрикциялық жонғылау және импульстік салқындатуға ие термофрикциялық жонғылау әдістерімен өңдеуге арналған модульдік тегерікті үйкеліс жонғыштарының конструкциялары әзірленді.

Әдебиеттер тізімі

1. Гулида Э.Н. Управление надежностью цилиндрических зубчатых колес. – Львов: Высшая школа, 1983. - 136 с.
2. Калашников С.Н., Калашников А.С. Изготовление зубчатых колес. - М.: Высшая школа, 1980. - 303 с.
3. Электронный документ. Энциклопедия по машиностроению XXL. Оборудование, материаловедение, механика. <https://mash-xxl.info/page/231191139244159190092062227016070249172210128162/>
4. Обработка зубчатых колес: учебн. пособие/ сост. Пегашкин В. Ф.; М-во образования и науки РФ: ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2016. – 132 с.
5. Смольников Н.Я., Ткаченко И.Г., Агапов С.И. Характер износа мелко модульных зуборезных долбяков // Обработка металлов - Новосибирск: Изд-во НГТУ, № 4 (45) 2009. – С.12-14.
6. Мардонов Б.Т. Повышение точности обработки прямозубых цилиндрических зубчатых колес обкатным инструментом: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.05 - Технологии и процессы механической и физико-технической обработки. Станки и инструменты – Ташкент: ТашГТУ, 2018 – 215 с.
7. Шеров К.Т., Маздубай А.В., Сихимбаев М.Р., Исагулов А.З., Шеров А.К., Ракишев А.К., Мусаев М.М., Сихимбаева Д.Р. Способ термофрикционной отрезки металлических заготовок с охлаждением и конструкция дисковой пилы / Патент №31934 РК на изобретение. 30.03.2017г. Бюл. №6.
8. Шеров К.Т., Мусаев М.М., Коккоз М.М. Способ термофрикционного фрезоточения и фреза трения // Патент РК №32933 на изобретение. Опубликовано 05.07.2018. Бюл. №25.
9. Шеров К.Т., Мусаев М.М., Ракишев А.К., Тусупова С.О. и др. Способ ротационно-фрикционного точения и конструкция чашечного резца // Патент №4140 РК на полезную модель. 12.07.2019г. Бюл. №28.
10. Sherov K.T., Buzauova T.M., Sherov A.K., Ualiev D.Sh. and etc. Method for performing thermo-friction cutting and strengthening treatment of cylindrical surfaces of workpieces by a friction disk / Patent № KZ25649-A4. Derwent: 2019-31750G.
11. Маздубай А.В. Метал дайындамаларды кесудің ресурсүнемшіл тәсілін зерттеу және жарату. 6D071200 – Машинажасау мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация. Қарағанды: ҚарМТУ, 2017-184 б.
12. Айнабекова С.С. Оптимизация режимов резания при термофрикционной обработке труднообрабатываемых материалов на основе исследования физико-механических свойств поверхностного слоя: диссертация на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071200 – «Машиностроение». Караганда: КарГТУ, 2020 – 166 с.
13. Ракишев А.К. Ротациялық-фрикциялық жону құрамалы тәсілін ғылыми зерттеу және жарату. 6D071200 – Машинажасау мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация. Қарағанды: ҚарМТУ, 2017-172 б.
14. Мусаев М.М. Беріктігі жоғары материалдарды өңдеудің кешенді тәсілін зерттеу және жарату. 6D071200 – Машинажасау мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация. Қарағанды: ҚарМТУ, 2017-152 б.
15. Доненбаев Б.С. Тау-кен металлургиясы кешені технологиялық жабдықтарының үлкен габаритті тетіктерін даярлаудың үнемшіл технологиясын жарату. 6D071200 – Машинажасау мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация. Қарағанды: ҚарМТУ, 2018 -149 б.

Г. Таттимбек¹, К.Т. Шеров^{*2}, С.С. Айнабекова³, Е.Б. Иманбаев⁴, Г.М. Тусупбекова⁵

^{1,2,5}*Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,
Астана, Казахстан*

³*Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан*

⁴*ТОО «Электровоз курастыру зауыты», Астана, Казахстан*

Исследование износа и стойкости зуборезных инструментов

Аннотация. В представленной работе приводятся результаты исследования состояния проблемы износа зуборезных инструментов. Целью научного исследования является выявление причины износа зуборезных инструментов, а также разработка способа обработки впадин зубьев зубчатых колес и конструкции специального инструмента для его реализации. Выполнен обзор научных работ по исследованию изнашивания зуборезных инструментов и выявлены факторы, оказывающие влияние на интенсивность износа. Выявлено, что одним из основных факторов, влияющих на износ зуборезного инструмента, является модуль обрабатываемого зубчатого колеса и с увеличением его, соответственно, увеличивается износ инструмента. Особенно это имеет место при изготовлении крупномодульных цилиндрических зубчатых колес, в частности в процессе обработки впадин зубьев, при котором увеличивается интенсивность износа инструмента, снижается точность и производительность обработки, а также повышается себестоимость операции. Такое состояние процесса связано в первую очередь с необходимостью удаления большого объёма металла из впадин зубчатого колёса.

Для решения данной проблемы предлагается новый ресурсосберегающий способ термофрикционной обработки впадин зубьев крупномодульных цилиндрических зубчатых колес. Разработаны конструкции модульных дисковых фрез трения – для обработки впадин зубьев цилиндрических зубчатых колес способами термофрикционного фрезерования и термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением. Изготовлены опытные образцы гладкой модульной дисковой фрезы трения и специальной оснастки для его закрепления на токарно-винторезном станке.

Ключевые слова: износ зуборезного инструмента, крупномодульные зубчатые колеса, период стойкости, термофрикционная обработка, фреза трения.

G. Tattimbek¹, K.T. Sherov^{*2}, S.S. Ainabekova³, E.B. Imanbaev⁴, G.M. Tusupbekova⁵

^{1,2,5}*Kazakh Agrotechnical Research University named after. S. Seifullina, Astana, Kazakhstan*

³*Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan*

⁴*Electric locomotive kurastyru зауыты LLP, Astana, Kazakhstan*

Study of wear and durability of gear cutting tools

Abstract. This article presents research findings on the wear of gear cutting tools. The purpose of the scientific research is to identify the causes of wear of gear cutting tools, as well as to develop a method for processing the cavities of gear teeth and the design of a special tool for its implementation.

A review of scientific works on the study of wear of gear cutting tools has been carried out and factors influencing the intensity of wear have been identified. It was revealed that one of the main factors influencing the wear of a gear cutting tool is the module of the gear being processed and as it increases, the wear of the tool increases accordingly. This is especially the case in the manufacture of large-module cylindrical gears, in particular in the process of machining tooth cavities. At which the intensity of tool wear increases, the accuracy and productivity of processing decreases, and the cost of the operation increases. This state of the process is primarily due to the need to remove a large volume of metal from the cavities of the gear wheel.

To solve this problem, a new resource-saving method of thermal friction processing of tooth cavities of large-module cylindrical gears is proposed. Designs of modular friction disk mills have been developed for processing the tooth cavities of cylindrical gears using thermal friction milling and thermal friction milling with pulse cooling. Prototypes of a smooth modular friction disk mill and special equipment for mounting it on a screw-cutting lathe were manufactured.

Keywords. Wear of gear cutting tools, coarse-grained gears, service life, thermal friction treatment, friction cutter.

References

1. Gulida E.N. Management of the reliability of cylindrical gear wheels. - Lviv: Higher School, 1983. - 136 p.
2. Kalashnikov S.N., Kalashnikov A.C. Production of gear wheels. - M.: Vysshaya Shkola, 1980. - 303 p.
3. Electronic document. Encyclopedia of mechanical engineering XXL. Equipment, materials science, mechanics and... <https://mash-xxl.info/page/231191139244159190092062227016070249172210128162/>
4. Processing of gear wheels: учебн. allowance/ sost. Pegashkin V. F.; Master of Education and Science of the Russian Federation: FGAOU VO "UrFU im. First President of Russia B.N. Yeltsin", Nizhnetagil. technol. in-t (phil.). - Nizhny Tagil: NTI (branch) UrFU, 2016. - 132 p.
5. Smolnikov N.Ya., Tkachenko I.G., Agapov S.I. Characterization of the use of small-scale tooth machining / Obrabotka metallov - Novosibirsk: Izd-vo NGTU, No. 4 (45) 2009. - P.12-14.
6. Mardonov B.T. Increasing the accuracy of processing straight-toothed cylindrical gears with a rolling tool. Dissertation for the competition for the degree of doctor of technical sciences by specialty 05.02.05-Technology and processes of mechanical and physical-technical processing. Machine tools and tools - Tashkent: TashGTU, 2018 - 215 p.
7. Sherov K.T., Mazdubay A.V., Sikhimbaev M.R., Isaghulov A.Z., Sherov A.K., Rakishev A.K., Musaev M.M., Sikhimbaeva D.R. The method of thermofriction cutting of metal blanks with cooling and the design of a circular saw / Patent #31934 RK na invention. 30.03.2017 Bull. No. 6.
8. Sherov K.T., Musaev M.M., Kokkoz M.M. The method of thermofriction milling and friction milling // Patent RK №32933 on the invention. Published on 07/05/2018. Bull. No. 25.
9. Sherov K.T., Musaev M.M., Rakishev A.K., Tusupova S.O. etc. Method of rotary-friction turning and design of a cup cutter // Patent №4140 RK on a useful model. 12.07.2019 Bull. No. 28.
10. Sherov K.T., Buzauova T.M., Sherov A.K., Ualiev D.Sh. and etc. Method for performing thermofriction cutting and strengthening treatment of cylindrical surfaces of workpieces by a friction disk / Patent No. KZ25649-A4. Derwent: 2019-31750G.

11. Mazdubai A.V. Research and creation of a resource-efficient way of cutting metal blanks. 6D071200 – Dissertation prepared for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in mechanical engineering. Karaganda: KSTU, 2017-184 p.

12. Ainabekova S.S. Optimization of cutting modes during thermofriction processing of hard-to-process materials based on the study of physical and mechanical properties of the surface layer. Dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in specialty 6D071200 - "Machine building". Karaganda: KarGTU, 2020 - 166 p.

13. Rakishev A.K. Scientific research and development of the rotary-friction grinding method. 6D071200 – Dissertation prepared for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in mechanical engineering. Karaganda: KMTU, 2017-172 p.

14. Musaev M.M. Research and creation of a complex approach to processing high-strength materials. 6D071200 – Dissertation prepared for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in mechanical engineering. Karaganda: KSTU, 2017-152 p.

15. Donenbaev B.S. Creation of a cost-effective technology for the preparation of large-sized mechanisms of technological equipment of the mining and metallurgy complex. 6D071200 – Dissertation prepared for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in mechanical engineering. Karaganda: KSTU, 2018 - p. 149.

Авторлар туралы мәлімет

Г. Таттимбек – техника ғылымдарының магистрі, докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 010000, Жеңіс даңғылы 62, Астана, Қазақстан

К.Т. Шеров – хат-хабар авторы, техника ғылымдарының докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 010000, Жеңіс даңғылы 62, Астана, Қазақстан

С.С. Айнабекова – PhD, аға оқытушы, Қарағанды индустриалдық университеті, 101400, Республика даңғылы 30, Теміртау, Қазақстан

Е.Б. Иманбаев – PhD, Қызметтік жобаның сапа бойынша директоры, «Электровоз курастыру зауыты» ЖШС, 010000, Индустриальдық паркі, А184 көшесі, 10 құрылыс, Астана, Қазақстан

Г.М. Тусупбекова – техника ғылымдарының магистрі, докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 010000, Жеңіс даңғылы 62, Астана, Қазақстан

Г. Таттимбек – магистр технических наук, докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, 010000, пр. Женис, 62, Астана, Казахстан.

К.Т. Шеров – автор для корреспонденции доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, 010000, пр. Женис, 62, Астана, Казахстан.

С.С. Айнабекова – PhD, Карагандинский индустриальный университет, 101400, пр. Республики, Темиртау, Казахстан.

Е.Б. Иманбаев – PhD, директор по качеству сервисного проекта, ТОО «Электровоз курастыру зауыты», 010000, Индустриальный парк, Улица А184, строение 10, Астана, Казахстан.

Г.М. Тусупбекова – магистр технических наук, докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, 010000, пр. Женис, 62, Астана, Казахстан.

G. Tattimbek – Master of Technical Sciences, doctoral student, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 010000, 62 Zhenis Ave., Astana, Kazakhstan.

К.Т. Sherov – corresponding author, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 010000, 62 Zhenis Ave., Astana, Kazakhstan.

S.S. Ainabekova – PhD, senior lecturer, Karaganda Industrial University, 101400, Republic Ave., Temirtau, Kazakhstan.

E.B. Imanbaev – PhD, Director for Service Project Quality, LLP "Electrovoz Kurastyru Zauyty", 010000, Industrial Park, Street A184, building 10, Astana, Kazakhstan.

G.M. Tusupbekova – Master of Technical Sciences, doctoral student, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 010000, 62 Zhenis Ave., Astana, Kazakhstan.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons

Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 50.13.13

Научная статья

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-1-236-242>

Web-интеграция

Арысбаев Арсен

Казахстанско-Немецкий университет, Алматы, Казахстан

(E-mail: arsen.arysbaev@bk.ru)

Аннотация. В данной статье были рассмотрены ключевые аспекты WEB-интеграции, ее типы и подходы, а также их преимущества с технической точки зрения и с точки зрения бизнеса. Поднят вопрос об актуальности и роли WEB-интеграции и WEB-сервисов в современности, а также представляемых ими преимуществах. Разобраны два основных типа интеграции. Обоснованы и перечислены положительные стороны и преимущества WEB-интеграции с точки зрения бизнеса. Разобраны основные подходы, которые используются для WEB-интеграции: интеграция на уровне представления, интеграция на уровне функциональности, интеграция на уровне данных и комплексная интеграция. Описаны ситуации и случаи применения каждого из вышеперечисленных типов WEB-интеграции, а также возможности, предоставляемые ими для различных ситуаций. Проведен анализ и сравнение основных типов WEB-интеграции и приведены примеры на основе интегрирования социальных сетей, а именно – интеграция социальных сетей на сайт, что является одним из самых эффективных способов интеграции с целью расширения охвата аудитории, упрощения и взаимодействия с пользователем. Рассмотрены следующие примеры интеграции социальных сетей на сайт: добавление кнопок “Поделиться” и “Нравится” для предоставления пользователям возможности реагировать на контент других пользователей, а также делиться им; встраивание контента социальных сетей, дающее возможность встраивать посты из социальных сетей прямоком на сайт; использование API с целью получения данных о пользователях. Приведены результаты исследования и выводы на тему актуальности WEB-интеграции и ее роли в современном мире.

Ключевые слова: интеграция, WEB-интеграция, тип интеграции, преимущества, WEB-сервис.

Введение

В современности, когда информационные технологии быстро развиваются и играют неотъемлемую, важную роль в бизнесе, концепции WEB-интеграции и WEB-сервисов становятся более важными, актуальными и, самое главное, востребованными. WEB-интеграция является очень мощным средством, так как она позволяет интегрировать WEB-приложения и информационные системы в единую среду, обеспечивая при этом совместное функционирование и эффективное взаимодействие. WEB-интеграция обеспечивает синхронизированное функционирование WEB-сайтов, систем складского учета, бухгалтерии, интернет-магазинов и других специализированных программ. Это означает, что изменения в одной системе могут немедленно отразиться в другой, что способствует более эффективному управлению данными и процессами.

WEB-интеграция предоставляет различные преимущества для бизнеса, такие, как: контроль информации, представленной потребителям, управление информационными системами, увеличение продаж и снижение расходов на процессы обработки данных, что, несомненно, способствует эффективному совмещению различных аспектов бизнеса, от отделов продаж и клиентской поддержки до склада и учета.

Существуют два способа интеграции:

добавление элемента к уже существующей системе. Примером является интеграция системы онлайн-оплаты в существующий интернет-магазин;

образование новой системы посредством соединения элементов. Примером может служить соединение CRM-систем, инструментов электронной почты и социальных медиа для создания комплексной платформы управления взаимоотношениями с клиентами.

2. Методы

Web-интеграция является процессом, итогом объединения разнородных WEB-приложений и систем в единую среду на базе WEB.

WEB-интеграция - синхронизированное функционирование сайта и различных специализированных под это программ, что подразумевает взаимодействие между интернет-магазинами, разнообразными ресурсами корпораций и информационными системами, которое при изменении в одной цепи звена влечет изменения повсюду.

В связи с постоянным технологическим прогрессом, возникает потребность в эффективной интеграции нововведений с целью улучшения бизнес-процессов, что делает WEB-интеграцию очень востребованной. В эпоху больших WEB-интеграция является необходимой для управления и анализа огромных объемов информации, собирающейся с различных источников.

WEB-интеграция является актуальной для любых бизнес-процессов, синхронизаций систем в электронном бизнесе.

Перечислим положительные стороны и преимуществ WEB-интеграции с точки зрения бизнеса:

легкость контроля над информацией от потребителя на различных точках взаимодействия;

осуществление представления точнейших данных на цифровых точках взаимодействия с ЦА;

повышение уровня продаж за счет расширения потенциала и возможностей отделов предприятий;

снижение уровня расходов на ручную обработку данных, отчетов;

снижение уровня расходов на администрацию информационных систем и WEB-сайтов;

улучшения менеджмента и упрощение бизнес-процессов;

экономия времени и ресурсов.

Перечислим положительные стороны и преимуществ WEB-интеграции с технической точки зрения:

WEB-интеграция дает возможность развертывания информационных систем на базе сторонних приложений без необходимости разбираться в их системах;

возможность создания комплексной функциональности, посредством комбинирования разнородных компоненты с помощью WEB-протоколов, устанавливая приложения, представленные решением для интеграции созданные сторонними разработчиками, в WEB-интерфейсе;

предоставления доступа к WEB-сервисам разработчиков;

преимущества в поддержке, управляемости и развертывании социальных сетей в итоге WEB-сервисы, использования WEB-сервисами программного языка.

Рассмотрим четыре основных подхода, которые используются для Web интеграции:

для реализации взаимодействия с удаленными решениями, используется интеграция на уровне представления, которая открывает доступ к их интерфейсам. Данный уровень позволяет пользователю взаимодействовать с приложением. Интеграция на уровне представления даёт доступ к пользовательскому интерфейсу удаленных приложений. Интеграция на уровне представления в плане реализации является самой простой, однако имеет ограничения по функционалу и гибкости;

для осуществления прямого доступа к бизнес-логике приложений посредством взаимодействия последних по API или WEB-сервисов, используется интеграция на уровне функциональности. Подразумевается обеспечение прямого доступа к бизнес-логике приложений. Происходит по итогу непосредственным взаимодействием приложений с API или взаимодействия посредством WEB-сервисов. Интеграция на уровне функциональности в сравнении с остальными типами более сложная в настройке, но имеет более широкие возможности;

для осуществления доступа к базам данных удаленных программ и систем применяют интеграцию на уровне данных. Интеграция на уровне данных в сравнении с остальными типами выделяет акцент на обмене информацией и доступе к базам данных. Доступ к одной или нескольким базам данных, используемых удаленным приложением;

комплексная интеграция является объединением всех трех типов интеграции в разном соотношении. Осуществляется специализированными коммерческими решениями.

Комплексная интеграция полезнее всех в случае объединения разных типов интеграции с целями достижения гибкой интеграции между приложениями.

Интеграция социальных сетей на сайт – эффективный способ интеграции с целью расширения охвата аудитории и упрощения взаимодействия с пользователем. Рассмотрим основные примеры WEB-интеграции для социальных сетей.

Самый распространенный способ интеграции социальных сетей - добавление кнопок «Поделиться» и «Нравится». Данная интеграция позволяет пользователям реагировать на контент других пользователей.

Пример кода для добавления кнопки «Поделиться» на Facebook:

```
<a href="https://www.facebook.com/sharer/sharer.php?u=YOUR_URL" target="_blank">
  </a>
  YOUR_URL – адрес интегрируемого сайта или страницы.
```

Встраивание контента социальных сетей – еще один из многих способов интеграции, самый распространенный. Дает возможность встраивать посты из социальных сетей прямо на сайт.

Пример кода для встраивания поста Твиттера:

```
<blockquote class="twitter-tweet">
  <a href="https://twitter.com/ПримерТвита/status/1234567890">Текст твита</a>
</blockquote>
<script async src="https://platform.twitter.com/widgets.js" charset="utf-8"></script>
https://twitter.com/ПримерТвита/status/1234567890 - ссылка на встраиваемый пост.
```

Для создания более сложных интеграций используется API социальных сетей. Это приведет к получению данных о пользователях, возможности публиковать контент от их имени и т.д. Для работы с API социальных сетей потребуются доступ к специальным ключам, информация о которых хранится в документации.

Пример использования API Facebook для получения информации о пользователе:

```
FB.api('/me',{fields: 'name,email'}, function (response) {
  console.log('Данные пользователя: ' + JSON.stringify(response));
});
```

Результаты и обсуждение

Таблица 1

Сравнение типов WEB-интеграции

Тип	Описание	Преимущества	Недостатки
Интеграция на уровне представления	Открывает доступ к интерфейсам удаленных решений, позволяя пользователю напрямую взаимодействовать с ними	Прост в реализации	Функционал и гибкость ограничены

Интеграция на уровне функциональности	Обеспечивает прямой доступ к бизнес-логике приложений через API или веб-сервисы	Расширенные возможности по сравнению с другими типами	Сложна в настройке
Интеграция на уровне данных	Предоставляет доступ к базам данных удаленных программ и систем.	В центре внимания обмен информацией	Функциональность ограничена
Комплексная интеграция	Объединение всех трех типов интеграции в различных соотношениях.	Самая гибкая и функциональная.	Самый сложный и дорогостоящий тип

В таблице 1 обобщена информация об основных типах WEB-интеграции. Таблица показывает, для каких случаев подходит тот или иной тип WEB-интеграции, на каком уровне она должна выполняться для большей эффективности. Для того, чтобы выбрать наиболее подходящий тип WEB-интеграции, следует учитывать, в первую очередь, цели интеграции, функциональные возможности и сложность реализации, дальнейшей поддержки выбранного типа интеграции, стоимость различных вариантов интеграции.

Интеграция социальных сетей на сайт является эффективным способом расширения охвата аудитории и упрощения взаимодействия с пользователем. Были рассмотрены основные примеры WEB-интеграции на сайт: кнопки "Поделиться" и "Нравится", встраивание контента социальных сетей и использование API. Подтверждена их актуальность, так как способы позволяют пользователям делиться контентом, получать данные о контенте других пользователей и встраивать посты из социальных сетей на сайты. Таким образом, интеграция социальных сетей может увеличить трафик на сайт, улучшить вовлеченность пользователей, повысить узнаваемость контента.

Выводы

WEB-интеграция является актуальной и полезной для современного бизнеса, так как позволяет осуществлять объединение различных WEB-приложений и систем, с целью улучшения управления данными и процессами. Различные типы интеграции позволяют осуществлять выбор наилучшего и эффективнейшего способа взаимодействия в зависимости от потребностей бизнеса. WEB-интеграция является фундаментом и предпосылкой для оптимизации и автоматизации бизнес-процессов.

Список литературы

- а) Что такое интеграция простыми словами. [Электронный ресурс] – 2021. – URL:<https://news.mail.ru/guide/chto-takoe-integraciya-prostymi-slovami-19/#a01> (дата обращения: 14.12.2023).
- б) Что такое интернет-интеграция (Web Integration)? [Электронный ресурс] – 2015. – URL:<https://lpgenerator.ru/blog/2015/05/08/chto-takoe-internet-integraciya-web-integration/> (дата обращения: 13.12.2023).

с) Веб-интеграция. [Электронный ресурс] – 2015. – URL:<https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/218710> (дата обращения: 6.01.2024).

д) Как интегрировать социальные сети на сайт. [Электронный ресурс] – 2023. – URL:https://sky.pro/media/kak-integriruvat-soczialnye-seti-na-sajt/#:~:text=%D0%9E%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BC%20%D0%B8%D0%B7%20%D0%BD%D0%B0%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B5%20%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D0%B2,%D1%81%20%D0%B8%D1%85%20%D0%B4%D1%80%D1%83%D0%B7%D1%8C%D1%8F%D0%BC%D0%B8%20%D0%B8%20%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%BF%D0%B8%D1%81%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B8.&text=%D0%97%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%B5%20YOUR_URL%20%D0%BD%D0%B0%20%D0%B0%D0%B4%D1%80%D0%B5%D1%81%20%D0%B2%D0%B0%D1%88%D0%B5%D0%B3%D0%BE,%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%8B%2C%20%D0%BA%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B9%20%D0%B2%D1%8B%20%D1%85%D0%BE%D1%82%D0%B8%D1%82%D0%B5%20%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%82%D1%8C%D1%81%D1%8F/ (дата обращения: 25.12.2023).

Арысбаев Арсен

Қазақстан-Неміс университеті, Алматы, Қазақстан

(E-mail: arsen.arysbaev@bk.ru)

Web интеграциясы

Андатпа. Мақалада WEB интеграциясының негізгі аспектілері, түрлері мен тәсілдері, олардың техникалық және бизнес тұрғысынан артықшылықтары қарастырылған. Қазіргі уақытта WEB-интеграция мен WEB-сервистердің өзектілігі мен рөлі, сондай-ақ олардың ұсынатын ерекшеліктері туралы мәселе белсенді көтерілуде. Зерттеуде интеграцияның екі негізгі түрі жүйеленген. Бизнес тұрғысынан WEB интеграциясының оң нәтижелері мен артықшылықтары негізделген және тізімделген. Web_integration үшін қолданылатын басты тәсілдер: презентация деңгейіндегі, функционалдылық деңгейдегі, деректер деңгейіндегі және кешенді интеграция талданады. Жоғарыда аталған WEB интеграциясының әрқайсысының әлеуеті мен ахуалдары, сондай-ақ олардың әртүрлі ситуацияларда ұсынатын мүмкіндіктері сипатталған. Веб-интеграцияның негізгі түрлеріне талдау және салыстырулар жасалып, әлеуметтік желілерді интеграциялау негізінде мысалдар келтірілген. Атап айтқанда, әлеуметтік желілерді сайтқа интеграциялау аудиторияны кеңейтуде, жеңілдетуде және пайдаланушымен өзара әрекеттесу мақсатында интеграцияны қолданудың ең тиімді әдістерінің бірі болып табылады. Сайтқа әлеуметтік медианы біріктірудің келесі мысалдары қарастырылады: пайдаланушыларға басқа қолданушылардың сұрақтарына жауап беру, сондай-ақ ақпарат алмасуға мүмкіндік беру үшін бөлісу және ұнату түймелерін қосу; әлеуметтік медиа мазмұнын ендіру. Бұл әрекеттер әлеуметтік медиа жазбаларын сайтқа тікелей ендіруге мүмкіндік береді және пайдаланушы деректеріне API арқылы қол жеткізіледі.

Мақалада зерттеу нәтижелері мен web-интеграцияның өзектілігі мен оның қазіргі әлемдегі рөлі туралы қорытындылар келтірілген.

Түйін сөздер: интеграция, WEB интеграциясы, интеграция түрі, артықшылықтары, WEB қызметі.

Arsen Arysbayev

Kazakh-German University, Almaty, Kazakhstan

(E-mail: arsen.arysbaev@bk.ru)

Web-integration

Abstract. This article discusses the key aspects of WEB integration, its types and approaches, as well as their advantages from a technical and business point of view. The question of the relevance and role of WEB integration and WEB services in modern times, as well as their advantages. Two main types of integration are analyzed. The positive aspects and advantages of WEB integration from a business perspective are substantiated and listed. The main approaches that are used for WEB-integration are analyzed: integration at the presentation level, integration at the functionality level, integration at the data level and integrated integration. The situations and applications of each of the above types of WEB integration are described, as well as the possibilities they provide for various situations. The analysis and comparison of the main types of WEB integration is carried out and examples based on the integration of social networks are given, namely, the integration of social networks on the site, which is one of the most effective ways of integration in order to expand audience coverage, simplify and interact with the user. The following examples of integrating social networks into a website are considered: adding “Share” and “Like” buttons to enable users to respond to and share other users’ content; the embedding of social media content, which makes it possible to embed posts from social networks directly on the site; using the API to obtain user data. The results of the research and conclusions on the relevance of WEB integration and its role in the modern world are presented.

Keywords: integration, WEB integration, type of integration, advantages, WEB service.

Сведения об авторе:

Арсен Арысбаев – единственный автор статьи, все исследование проведено самостоятельно, студент бакалавриата, Казахстанско-Немецкий университет, Алматы, Казахстан, arsen.arysbaev@bk.ru.

Арсен Арысбаев – мақаланың жалғыз авторы, бүкіл зерттеу өз бетінше жүргізілді, бакалавриат студенті, Қазақстан-Неміс университеті, Алматы, Қазақстан, arsen.arysbaev@bk.ru.

Arsen Arysbayev – the only author of the article, the entire study was conducted independently, student, Kazakh-German University, Almaty, Kazakhstan, arsen.arysbaev@bk.ru.

Бас редакторы: Б.Б. Тогизбаева
Компьютерде беттеген: Д. Нурушева

Авторларға арналған нұсқаулықтар,
жарияланым этикасы журнал сайтында берілген: <http://bultech.enu.kz>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.
Техникалық ғылымдар және технологиялар сериясы.
– 1 (146)/2024 – Астана: ЕҰУ. – 243 б.
Шартты б.т. – 30,3. Таралымы – 15 дана.
Басуға қол қойылды: 29.03.2024 ж.
Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bultech.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Сәтбаев көшесі, 2.
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті Тел.: +7(71-72) 70-95-00 (ішкі 31-315)
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды.